

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra Elektroenergetiky

Posúdenie clonenia svietidiel pomocou jasovej analýzy

Shielding assessment of luminaires by luminance analysis

2013

Bc. Marián Blaho

Prehlásenie :

Prehlasujem, že som túto diplomovú prácu vypracoval samostatne. Uviedol som všetky literárne
pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

V Ostrave, 6. mája 2013

.....

Marián Blaho

Pod'akovanie:

Predovšetkým by som chcel poďakovať svojmu vedúcemu diplomovej práce, ktorým bol prof. Ing. Karel Sokanský, CSc., za odbornú pomoc pri spracovaní tejto diplomovej práce. Ďalej ďakujem Ing. Petrovi Závadovi za odborný dohľad pri meraniach.

Abstrakt:

Na začiatku diplomovej práce sa venujem jasú výkonových LED, uvádzam základné informácie o výkonových LED a jase. Na konci kapitoly uskutočňujem meranie na výkonovom svietidle a porovnávam jas svietidla a jednej z diód. Ďalšia kapitola je zameraná na usmerňovanie svetelného toku, preto v nej popisujem druhy usmernení, odrazov a materiály na to používané. V závere tejto kapitoly meriam vplyv rôznych druhov difúzorov. V nasledujúcej časti robím meranie na dvoch svietidlách, jednom s LED zdrojom a druhom so žiarivkovým zdrojom. Výsledky z meraní a porovnávaní sú spracované v poslednej kapitole s odporúčaniami pri návrhu a výbere svetelných systémov osadených výkonnými LED svietidlami.

Kľúčové slová:

jasová analýza, optické vlastnosti, výkonové LED diódy, LED svietidlá

Abstract:

In the beginning of the master's thesis I focus on the brightness of power LED provides an overview of the LED power and brightness. At the end of the chapter provides a measure of the rating and compare lantern lamp and highlights one of the diodes. The next chapter is focused on guiding lumen, therefore it describes the kind of guidance, reflections and materials to use. At the end of this chapter, I measure the impact of different types of diffusers. In the next section I make measurements on two lamps, one with a LED source and the second with fluorescent. The results of the measurements and comparisons are reflected in the final chapter with recommendations for design and selection of lighting systems planted with powerful LED lighting.

Keywords:

luminance analysis, optical properties, power LED, LED luminaires

Zoznam obrázkov

Obrázok 1 Výkonová LED dióda bez chladiča	13
Obrázok 2 Výkonová dióda s chladičom.....	13
Obrázok 3 Konštrukčné usporiadanie výkonovej LED	14
Obrázok 4 Výkonové LED od výrobcov Philips a Osram	14
Obrázok 5 Jas	16
Obrázok 6 Zväzok rozbiehajúcich a zbiehajúcich sa lúčov.....	17
Obrázok 7 Jasová analýza LED svietidla	21
Obrázok 8 Jasová analýza vybranej LED diódy.....	22
Obrázok 9 Graf stredných hodnôt jasu LED svietidla.....	23
Obrázok 10 Graf stredných hodnôt jasu LED diódy	23
Obrázok 11 Reflektor	25
Obrázok 12 Refraktor	26
Obrázok 13 Difúzor	26
Obrázok 14 Odraz svetla	27
Obrázok 15 Ideálny rozptyľovač	28
Obrázok 16 Kombinovaný odraz	28
Obrázok 17 Štruktúra lešteného hliníka so striebrom	30
Obrázok 18 MIRO-SILVER® 27 4270 AG	31
Obrázok 19 MIRO-SILVER® 5 5013 AG	31
Obrázok 20 MIRO-SILVER® 8 5100 AG	32
Obrázok 21 Štruktúra vysoko lešteného hliníka	32
Obrázok 22 MIRO® 2 4200 GP	33
Obrázok 23 MIRO® 4 4400 GP	33
Obrázok 24 MIRO® 5 5011 GP	34
Obrázok 25 MIRO® 6 6000 GP	34
Obrázok 26 MIRO® 7 5000 GP	35
Obrázok 27 MIRO® 20 2000 GP	35
Obrázok 28 Porovnanie materiálov používaných na usmernenie	36
Obrázok 29 Polymetylmetakrylát.....	37
Obrázok 30 Polykarbonáty	38
Obrázok 31 Efekt viacnásobného tieňa	39
Obrázok 32 LED svietidlo bez použitia difúzora	40
Obrázok 33 Jasová mapa s použitím difúzora s profilom SATINE	41
Obrázok 34 Jasová mapa s použitím difúzora PRIZMA	41
Obrázok 35 Jasová mapa s použitím difúzora MIKROPRIZMA	41
Obrázok 36 Graf porovnanie difúzorov podľa stredných hodnôt.....	43
Obrázok 37 Graf znázorňujúci účinnosť pri použití difúzorov	43
Obrázok 38 Krivka svietivosti pre Prisma.....	44
Obrázok 39 Krivka svietivosti pre Mikroprizma.....	44
Obrázok 40 Krivka svietivosti pre SATINE	44
Obrázok 41 Porovnávané svietidlá.....	45
Obrázok 42 Jasová analýza LED svietidla	46
Obrázok 43 Jasová analýza žiarivkového svietidla	46
Obrázok 44 Graf porovnávajúci stredné hodnoty jasu	47
Obrázok 45 Krivka svietivosti žiarivkového svietidla	48
Obrázok 46 Krivka svietivosti LED svietidla	48
Obrázok 47 Ukážka vyžarovacieho uhla.....	50

Obrázok 48 Ukážka dvoch rôznych zdrojov svetla	51
Obrázok 49 Teplota chromatičnosti	52

Zoznam tabuliek

Tabuľka 1 Energia zakázaného pásma pri polovodičových prvkov	15
Tabuľka 2 Hodnoty jasov pre celé LED svietidlo	21
Tabuľka 3 Hodnoty jasov pre jednu LED diódu svietidla	22
Tabuľka 4 Hodnoty jasov LED svietidla bez použitia difuzora	42
Tabuľka 5 Hodnoty jasov podľa použitého difúzora	42
Tabuľka 6 Výsledné jasy porovnavania	47

Zoznam symbolov a skratiek

LED - Light-Emitting Diode

W – watt

Lm – lumen

A – ampér

InGaN – nitrid gália a india

Al₂O₃ - oxid hliníka (korund)

SiC – karbid kremíka

Si – kremík

V – volt

Ge – germánium

InP - fosfid india

GaP – fosfid gália

GaN – dusičnan gália

L – jas

Cd – kandela

L_γ - jas vo vzťaznom smere

I_γ - svietivosť zväzku svetelných lúčov (svietiacej plochy) (cd)

A - veľkosť svietiacej plochy viditeľnej pozorovateľom (m²)

γ - uhol medzi normálom plochy a smerom rádius-vektoru I_γ (-)

$f(\gamma)$ - funkcia charakterizujúca tvar čiary jasu

d Ω - priestorový uhol

dAn - plocha kolmá k osi zväzku lúčov

PWM - pulzné šírkové modulátory

Min – minimálne jasy

Max - maximálne jasy

PMMA - Polymetylmetakrylát

$\rho(x)$ – činiteľ odrazu

Ag – striebro

ÚV – ultraviolet – ultrafialové žiarenie

PC – polykarbonáty

OLED - Organic Light Emitting Diode - organické elektroluminescenčné diódy

LCD - displej z tekutých kryštálov

PMOLED – passive matrix OLED – s pasívnou maticou organické elektroluminescenčné diódy

AMOLED – active matrix OLED – s aktívnou maticou organické elektroluminescenčné diódy

TFT – Thin film transistor – tenkovrstvové tranzistory

CRI - Color Rendering Index – index podania farieb

R_a – index podania farieb

K – kelvin

Obsah

Obsah	9
1. Úvod	11
2. Rozbor jasů výkonových LED diód	12
2.1. Výkonové LED diódy	12
2.1.1. Popis výkonových LED	12
2.1.2. Konštrukčné usporiadanie	13
2.1.3. Špecifické vlastnosti	15
2.2. Jas (L)	16
2.3. Posúdenie jasů LED svetelných zdrojov	18
2.4. Meranie jasů	18
2.5. Jasomer a jasový analyzátor	19
2.6. Regulácia jasů LED svietidiel	19
2.7. Meranie výkonového LED svietidla	20
2.7.1. Výsledky merania	24
3. Možnosti usmernenia svetelného toku	25
3.1. Usmernenie svetelného toku	25
3.1.1. Reflektor	25
3.1.2. Refraktor	26
3.1.3. Difúzor (rozptyľovač)	26
3.2. Proces odrazu svetla	27
3.2.1. Druhy odrazu	28
3.2.2. Viacnásobné odrazy	29
3.2.3. Závojové oslnenie odrazom	29
3.3. Materiály používané na usmernenie odrazu svetla	30
3.3.1. Leštený hliník so striebrom (Miro-Silver®)	30
3.3.2. Vysoko leštený hliník (Miro®)	32
3.3.3. Porovnanie materiálov	36
4. Odrazné a priepustné vlastnosti optických materiálov	37
4.1. Materiály používané na výrobu LED šošovky	37
4.1.1. PMMA (Polymetylmetakrylát)	37
4.1.2. PC (Polykarbonáty)	37
4.1.3. Organické LED diódy – OLED	38
4.2. Efekt viacnásobného tieňu	39
4.3. LED s prídavnou optikou	39

5.	Meranie jasů a vyhodnotenie jasů LED svietidla v závislosti na použitom type difúzora	40
6.	Porovnanie vyžarovania svietidla osadeného žiarivkami a LED s podobnými svet. tokmi	45
7.	Odporúčania pri návrhu optických systémov u svietidiel osadených LED	49
7.1.	Rozloženie jasů.....	49
7.2.	Vyžarovací uhol	50
7.3.	CRI = Color Rendering Index	51
7.4.	Svietivosť - intenzita svetelného žiarenia.....	52
7.5.	Teplota chromatičnosti - farebná teplota	52
7.6.	Svetelná účinnosť	53
7.7.	Účinnosť	53
7.8.	Teplotná závislosť	54
7.9.	Životnosť	54
8.	Záver	55
	Použitá literatúra.....	56

1. Úvod

V dnešnej dobe sú v odvetví svetelnej techniky rozhodne hlavnou témou výkonové LED svietidlá. V posledných rokoch vďaka ich narastajúcemu mernému výkonu začali byť zaujímavou alternatívou pri náhrade klasických svetelných zdrojov. Preto je táto diplomová práca hlavne zameraná na výkonové LED svietidlá.

V prvej časti diplomovej práce sa venujem rozboru jasú výkonového LED svietidla. V úvode sú vysvetlené základné informácie hlavne o výkonových LED diódach a jasovej analýze. Záver prvej kapitoly obsahuje meranie výkonového LED svietidla na posúdenie vhodného parametra, ktorý by sa mal uvádzať pri výkonovom LED svietidle z hľadiska jasovej analýzy.

Druhá časť práce je zameraná na rozoberanie odrazových a priepustných vlastností optických materiálov, využívaných pri konštrukcii LED svietidiel. V tejto časti sú priblížené materiály použité na odrazové časti svietidla, ich postupný vývoj a je ponúknutý prehľad dostupných typov, ktoré sú v tejto dobe používané na tento účel. Ďalej sú rozoberané možnosti usmernenia svetelného toku a ich dopad na účinnosť LED svietidla.

Záverečná časť je zameraná na porovnanie svietidiel s podobným svetelným tokom. Pri praktickom pozorovaní vlastností klasického zdroja v porovnaní s LED svietidlom. Z nameraných hodnôt sú vyvedené výsledky, ktoré sú následne zakomponované do odporúčaní pri návrhu a výbere LED svietidiel.

2. Rozbor jasů výkonových LED diód

2.1. Výkonové LED diódy

Vďaka rýchlemu vývoju v oblasti LED technológií sa dnes stále častejšie môžeme stretávať so svetidlami na báze výkonových LED diód. Prvé výkonové LED objavil v roku 1976 T.P. Pearsall.

Výkonové LED diódy sú dvojelektródové polovodičové súčiastky, ktoré sa správajú ako jednocestný filter. Ide o elektronickú súčiastku, ktorá na základe fyzikálneho javu „injekčná elektroluminiscencia“ ,vyžaruje monochromatické nekoherentné svetelné žiarenie.

2.1.1. Popis výkonových LED

Za výkonové LED môžeme označovať svetivú diódu, ktorej hodnota menovitého výkonu sa pohybuje v rozmedzí hodnôt od 0,5W do 5 W, prípadne sa blíži hodnote 10W.

V laboratórnych podmienkach sa však môžeme stretnúť aj s výkonovými LED diódami s príkonom až 100W, ktoré dokážu vyžiariť svetlo až 7000lm.

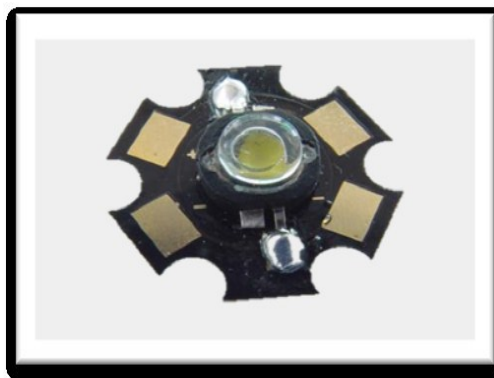
Výkonovými LED pretekajú viacnásobne väčšie prúdy ako pri klasických LED diódach. Pretekajúci prúd sa pohybuje rádovo od stoviek mA až k 1A. Ich hlavnou prednosťou je vysoký príkon sústredený na malej ploche, preto skladaním týchto výkonových LED diód do rôznych tvarov (pásiky, kolieska, štvorce), môžeme v osvetlení dosiahnuť veľmi dobré výsledky.

Výkonové LED diódy však pri prevádzke generujú pomerne dosť tepla, preto musia byť správne chladené, aby nedošlo k ich zničeniu. Ich súčasťou sú často hliníkové plôšky, nazývané chladičmi, ktoré odvádzajú teplo na opačnú stranu, ako svieti „svetelný kužeľ“. Odvod tepla z výkonových LED diód má zásadný význam, pretože prevádzková teplota v tolerancii uvádzanej výrobcom má priamy vplyv na deklarovanú životnosť čipu výkonovej LED diódy. Preto bez použitia chladiča by sa výkonová LED dióda pri prevádzke v priebehu niekoľkých sekúnd pod vplyvom tepla zničila.

Svietidlá s vysoko výkonovými LED sú schopné poskytnúť dostatok svetla prakticky kdekoľvek. Využívajú sa hlavne na osvetlenie pracovných dosiek, na osvetlenie objektov, osvetlenie interiérov a výstavných priestorov, ale aj ako verejné osvetlenie .



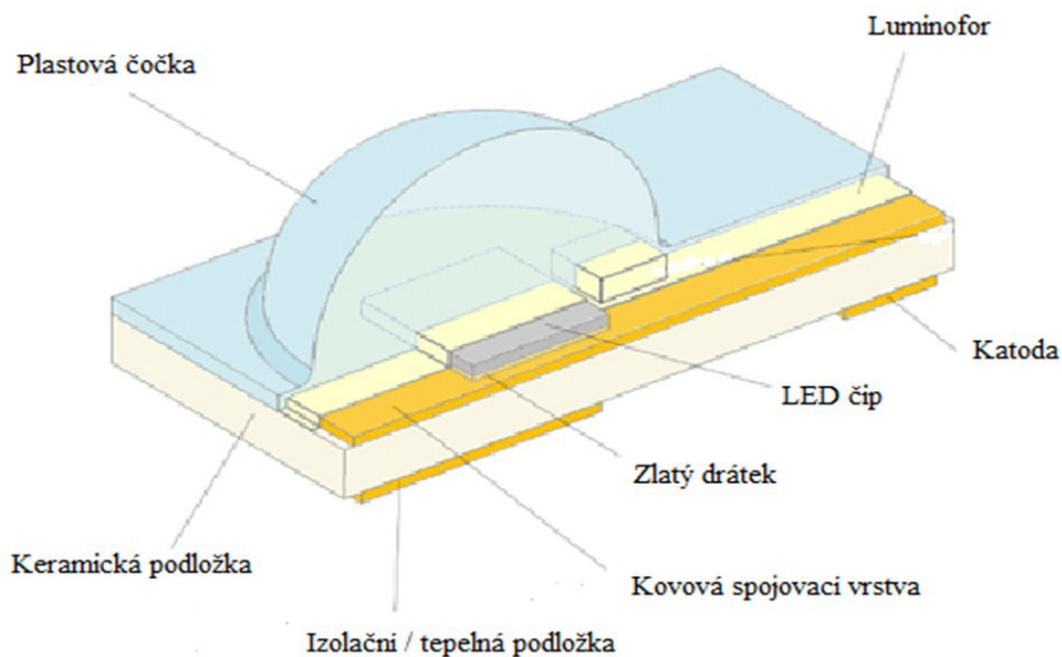
Obrázok 1 Výkonová LED dióda bez chladiča



Obrázok 2 Výkonová dióda s chladičom

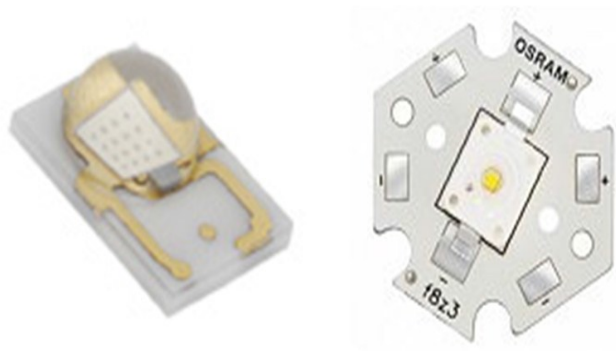
2.1.2. Konštrukčné usporiadanie

Hlavnou časťou výkonovej LED je aktívna časť, tvorená tzv. nanometrickými heteroštruktúrami, ktoré sú tvorené z chemickej zlúčeniny InGaN. Základom čipu výkonovej LED diódy sa najčastejšie používa safír (Al_2O_3), SiC alebo Si. Z dôvodu väčších pretekajúcich prúdov by mala byť výkonová LED dióda zaopatrená chladičom, vyrobenom napr. z hliníka, pre chladenie čipu.



Obrázok 3 Konštrukčné usporiadanie výkonovej LED

Pri použití vhodnej technológie na spracovanie zlúčenín InGaN prestala byť výroba svietivých diód problematickou. Výkonové diódy vyžarujú veľmi intenzívne monochromatické svetelné žiarenie, jeho zdroj kmitá výhradne na jedinej frekvencii, preto môže vyžarovať iba jednu farbu, čo bolo v skorších dobách prakticky nemožné. V minulosti boli „nízko“ výkonové LED diódy vyrábané technológiou založenou na spracovaní SiC. Ku výhodám ,pri použití technológií so spracovaním zlúčeniny GaN , patrí hlavne prípustná hodnota pracovnej teploty čipu, vysoká celková účinnosť, vysoký výkon.



Obrázok 4 Výkonové LED od výrobcov Philips a Osram

2.1.3. Špecifické vlastnosti

Vďaka niektorým špecifickým vlastnostiam polovodičov sú tieto prvky schopné emitovať veľmi intenzívne viditeľné žiarenie kratších vlnových dĺžok, než ktoré bolo možné vyžiariť svietivými diódami vyrobenými skoršími technológiami.

Tabuľka 1 Energia zakázaného pásma pri polovodičových prvkoch

Polovodičový prvok	E_g [V]
Ge	0,67
Si	1,12
InP	1,27
GaP	2,26
GaN	3

Medzi typickú vlastnosť moderných výkonových LED patrí hlavne relatívne vysoká hodnota úbytku napätia. V závislosti na prevádzkových podmienkach vo výrobní tolerancii súčiastky sa pohybuje v rozmedzí hodnôt od 2,5 do 4 V. Táto výkonová LED musí byť zapojená v priepustnom smere, aby došlo k vyžarovaniu fotónov.

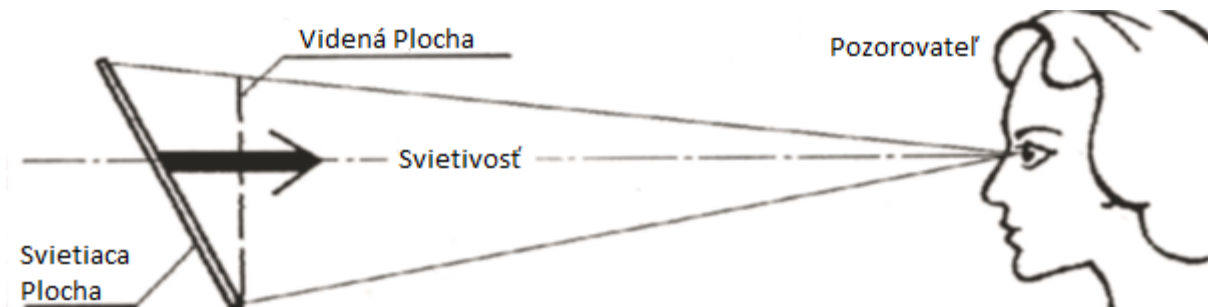
Prierez PN prechodu výkonových LED nastane aj pri relatívne nízkom napätí (približne vyššom než 5 V), priložením na svorky výkonovej LED, jej PN prechod je polarizovaný v závernom smere. Preto väčšina výrobcov výkonových LED chráni svoje produkty proti nesprávnej polarizácii napájacieho napätia tak, že do puzdra spoločne s výkonovou LED integruje aj „nevýkonovú“ LED, ktorá je k tejto výkonovej LED zapojená anti-paralelne. Tato „ochranná“ LED sa rozsvieti v prípade nesprávnej polarizácie napájacieho napätia pre výkonovú LED.

Dôvod, prečo by nemala byť zapojená výkonová LED v závernom smere napätia, je skutočnosť, že v tomto smere napájacieho napätia dochádza k prudkému nárastu porúch kryštálovej štruktúry čipu výkonovej LED. Narušenie kryštálovej štruktúry obvykle vedie v najlepšom prípade „iba“ k degradácií optických vlastností výkonovej LED.

Na rozdiel od vláknových wolframových žiaroviek obvykle degradujú veľmi pomaly, v zmysle poklesu intenzity emitovaného žiarenia. V dnešnej dobe nie je stále známy bezpečný, ani spoľahlivý spôsob, ako pri týchto výkonových LED zistiť rozsah degradácie ich optických vlastností. Tieto degradácie môžu spôsobiť, že sa v čipe výkonovej LED zmení rekombinačný proces na nevyžarujúce rekombinácie elektrónov a dier.

2.2. Jas (L)

Jas je fotometrická veličina definovaná ako merná svietivosť. Označuje sa L a uvádza sa v ($\text{cd} \cdot \text{m}^2$). Je to veličina, na ktorú oko priamo reaguje. Presnejšie povedané, reaguje na kontrast jasov.



Obrázok 5 Jas

Jas je daný plošnou a priestorovou hustotou svetelného toku. Preto vždy záleží na polohe pozorovateľa a na smere jeho pohľadu. Nezáleží pritom, či jas zväzku lúčov vychádza priamo zo svetelného zdroja, alebo je odrazený od ľubovoľnej odrazenej plochy. Pokiaľ určitému bodu priestoru určíme veľkosť jasov zväzku lúčov a vynesieme ich v zodpovedajúcom uhle ako radius-vektori, potom dostaneme fotometrickú plochu s rozložením jasov. Touto plochou potom môžeme urobiť rezy, prechádzajúce vzťažným bodom. Tu jasov zväzkov lúčov v daných uhloch predstavujú čiary udávané v polárnych súradniciach. Čiary sa dajú popísať vzťahom:

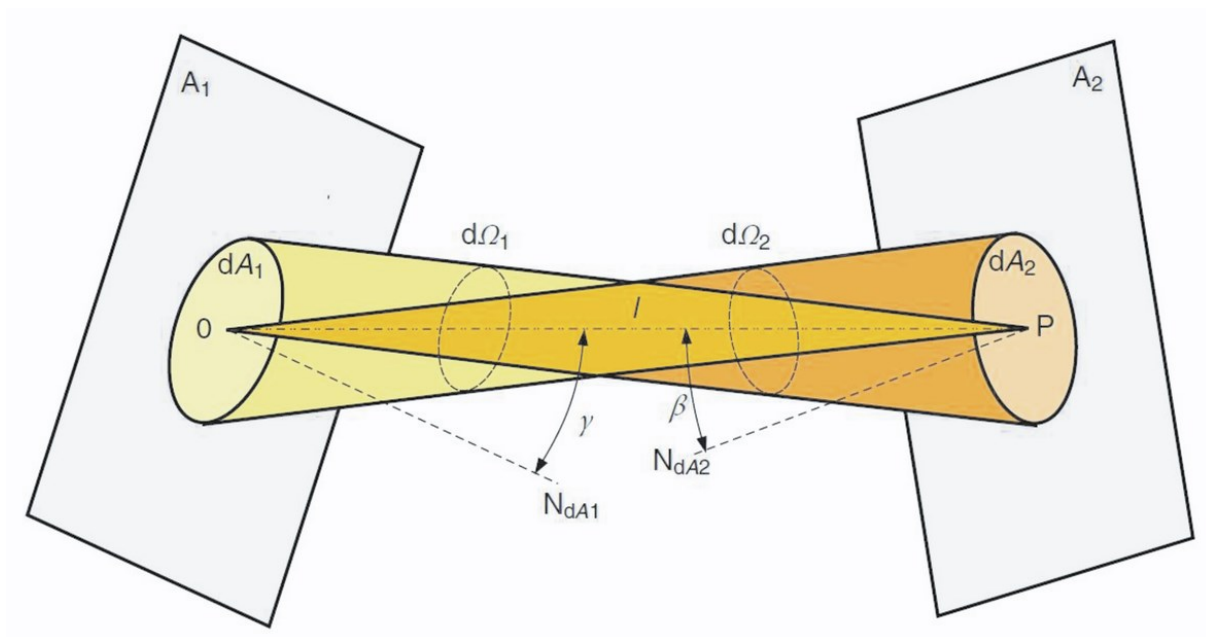
$$L_{\gamma} = \frac{I_{\gamma}}{A \cdot \cos \gamma} \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}; \text{cd}; \text{m}^2)$$

Kde:

I_{γ} ... svietivosť zväzku svetelných lúčov (svietiacej plochy) (cd)

A ... veľkosť svietiacej plochy viditeľnej pozorovateľom (m^2)

γ ... uhol medzi normálom plochy a smerom radius-vektoru I_{γ} (-)



Obrázok 6 Zväzok rozbiehajúcich a zbíhajúcich sa lúčov

Jas zväzku lúčov je veličinou danou plošnou a priestorovou hustotou svetelného toku, ktorý lúče prenášajú.

Platí vzťah:

$$L_{OP} = \frac{d^2\Phi}{d\Omega \cdot dA_n} = \frac{d^2\Phi}{d^2G}$$

kde L_{OP} predstavuje jas v smere osi OP, $d\Omega$ priestorový uhol, ktorým sa tieto lúče šíria a dA_n plocha, ktorá je kolmá k osi zväzku lúčov. Menovateľa môžeme zjednodušiť do tvaru d^2G , čo predstavuje geometrickú veľkosť zväzku.

2.3. Posúdenie jasů LED svetelných zdrojov

Jas svetelného zdroja sa často vyjadruje ekvivalentom ? výkonu klasických žiaroviek, napríklad "svetelný výkon 15- wattového energeticky úsporného svetelného zdroja zodpovedá výkonu 60- wattovej žiarovky".

Pretože od roku 2012 prestali byť dostupné klasické žiarovky, je potrebný nový spôsob posudzovania jasů.

Optimálnou jednotkou je lúmen, ktorým sa vyjadruje svetelný výkon svetelného zdroja. Napríklad svetelný výkon 60-wattovej žiarovky je približne 750 lúmenov. Ak teda je hľadaný rovnako jasný úsporný svetelný zdroj, je treba zabudnúť na wattý a hľadať svetelné zdroje so svetelným výkonom 750 lúmenov.

Svetelný výkon je vyznačený na obale žiaroviek s európskym energetickým štítkom od roku 1998. Od septembra 2010 sú lúmeny vyznačované výraznejšie ako wattý.

2.4. Meranie jasů

Merací prístroj jasů sa nazývajú jasomer alebo jasový analyzátor. Zisťujeme nimi strednú hodnotu jasů plochy, ktorú nám vymedzuje zorné pole prístroja na povrchu skúmaného objektu. Je teda nutné, aby zorné pole jasomera obsahovalo iba povrch telesa, ktorého jas skúmame. Zorné pole sa u jasomera obvykle pozoruje v objekte, v ňom je oblasť merania vyznačená.

2.5. Jasomer a jasový analyzátor

Jasomer

pracuje na rovnakom princípe ako lux-meter, je doplnený o optiku, ktorá vymedzuje kolmý dopad svetla na čidlo luxmetru v definovanom priestorovom uhle ,v ktorom je sledovaný jas integrovaný. Meria jas fiktívnych alebo reálnych povrchov vyžarujúcich alebo odrážajúcich svetlo. Býva doplnený systémom ,ktorý umožňuje, aby obsluha nasmerovala vlastný merajúci systém presne na zvolené miesto.

Jasový analyzátor

je v podstate digitálny fotoaparát, ktorý má opticky alebo softvérovo upravenú citlivosť podľa krivky citlivosti ľudského oka. Na rozdiel od jasomeru umožňuje jasový analyzátor snímať jasové mapy s rozlišovacou schopnosťou ,danou priestorovým uhlom snímajúcim jedným pixelom. Ku zvýšeniu dynamického rozsahu snímaných jasových máp je využívané software prekryvanie niekoľkých identických snímkov ,urobených pri rovnakých expozíciách. Vyhodnotenie jasů sa robí pomocou softwaru, napríklad Lmk Labsoft alebo Lumidisp, a je upravený tak, že je možné predvoliť akýkoľvek systém vlastného vyhodnotenia podľa zavedených zvyklostí.

2.6. Regulácia jasů LED svietidiel

Všeobecne platí: čím viacej prúdu, tým viac svetla. Najjednoduchší a najčastejší spôsob nastavenia prúdu diódy je pomocou predradného odporu, ktorý je zapojený v sérii s diódou LED. K regulácii jasů LED je možné použiť aj jednoduchý regulátor s tranzistorom, až po trochu zložitejšie pulzné šírkové modulátory - PWM. LED diódou pretekajú krátkodobé impulzy prúdu. Tieto impulzy sa privádzajú v ďaleko vyšších frekvenciách, než je ľudské oko schopné zachytiť, takže LED dióda vyzerá, ako by svietila trvale. Zmenou striedy (činiteľ plnenia) potom meníme jas. Ide o riešenie používané hlavne v zapojeniach s mikrokontrolermi.

2.7. Meranie výkonového LED svietidla

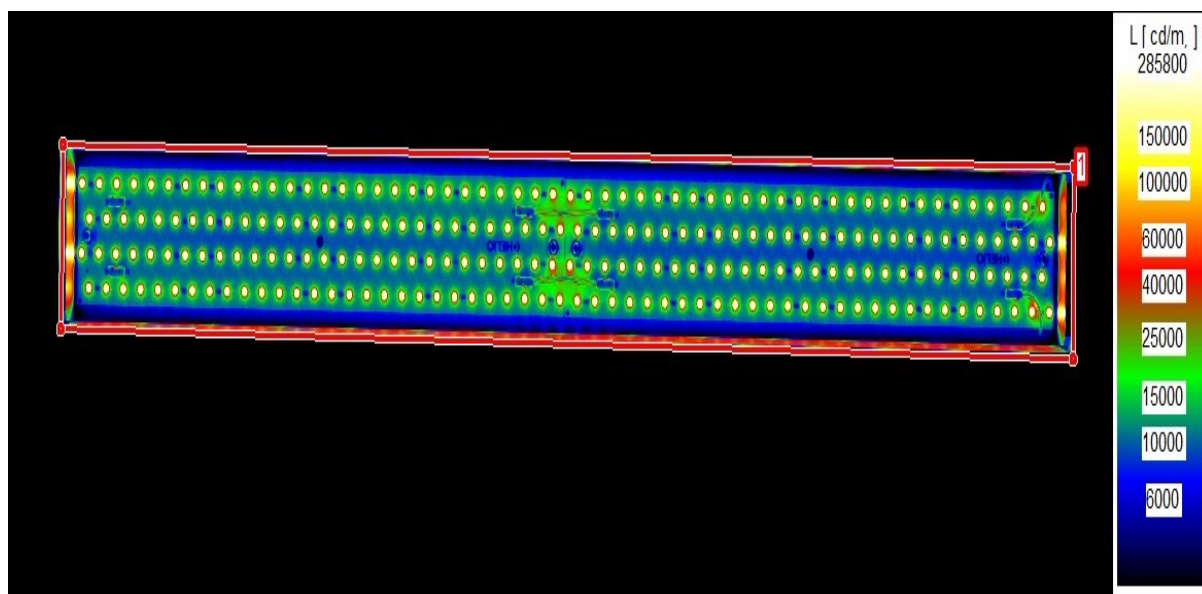
Meranie prebiehalo 10.1. 2013 v laboratóriu 01 v areáli školy VŠB TU Ostrava v budove „L“. Pri meraní bolo cieľom zistiť, ktorý parameter výkonového LED svietidla je užitočnejší pri posúdení a porovnaní rôznych LED svietidiel, či je to jas celého svietidla alebo je to jas jednotlivých LED diód. Meranie prebiehalo na svietidle od výrobcu Helio a type svietidla Coridor ULED 20W

Ku spracovaniu nameraných fotografií slúži software LMK Labsoft. Ako podklad k vyhodnoteniu sú použité dáta vo formáte CR2, v ktorom je obraz zaznamenaný v RAW fotke, čo znamená, že fotka je uložená bez korekcií, preto môžeme tieto dáta približovať bez straty kvality, ako to je pri iných bežných formátoch typu JPEG, BMP atď.

Mieriacim prístrojom použitým k tomuto meraniu bol prístroj Canon EOS450D, čo je digitálna jednooká zrkadlovka, ktorá zaznamenáva reálnu scénu v digitálnej podobe na pamäťové médium pomocou CMOS snímača. Pri meraní je možné využiť celý rozsah a nastaviť úroveň expozície, čím sa svietidlo zaznamená na tri samostatne fotky, s rôznou úrovňou expozície. Z nameraných hodnôt je vytvorený jasový kanál, v ktorom je uložená informácia o hodnote jasu pre daný makro-pixel. Makro-pixel obsahuje 4 pixely, v ktorých je uložená hodnota zaznamenaná snímačom CMOS. Uložené jasové dáta je ďalej možno spracovávať a vyhodnocovať podľa požadovaného postupu alebo normy.

Pri meraní svietidla Helio Coridor ULED 20W boli použité expozičné úrovne E0,001; E0,01; E0,1; E1 a E10. Týchto päť snímok tvorilo jednu sériu, ktoré boli spojené do jedného jasového kanálu.

Nasledujúci snímok zhotovený prístrojom Canon EOS450D zobrazuje jasové pole jednej série s vyznačeným pracovnej plochy pre určenie stredných hodnôt jasu pre celé LED svietidlo.



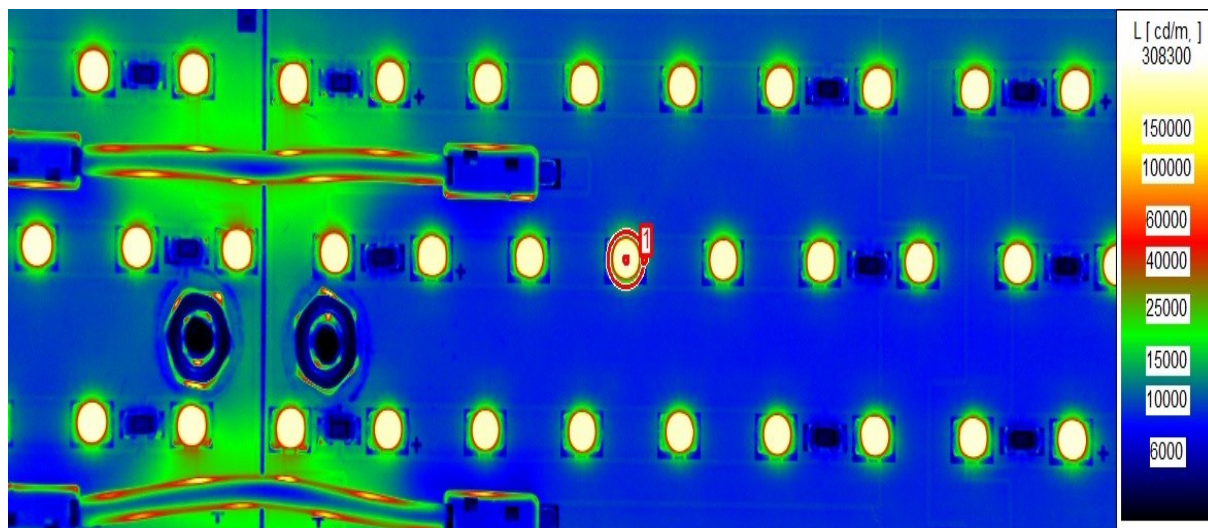
Obrázok 7 Jasova analýza LED svietidla

V nasledujúcej tabuľke sú zhrnuté jasy maximálne, minimálne a ich stredné hodnoty z označenej plochy, pre celé LED svietidlá zoradené podľa čísla merania.

Tabuľka 2 Hodnoty jasov pre celé LED svietidlo

Poradie	Oblasť	Min (cd·m ²)	Max (cd·m ²)	Stred.hod. (cd·m ²)
meranie 1	4354	477,7	67800	23230
meranie 2	4354	472,9	67000	22870
meranie 3	4354	312,7	67160	23060
meranie 4	4354	471	68250	23270
meranie 5	4354	331,3	68720	23350
meranie 6	4354	367,2	68350	23150
meranie 7	4354	336,3	67110	22970
meranie 8	4354	311,8	68170	23240

Nasledujúci snímok zhotovený prístrojom Canon EOS450D zobrazuje jasové pole jednej série s vyznačeným pracovnej plochy jednej LED diódy pre určenie stredných hodnôt jasu pre označenú LED diódu.



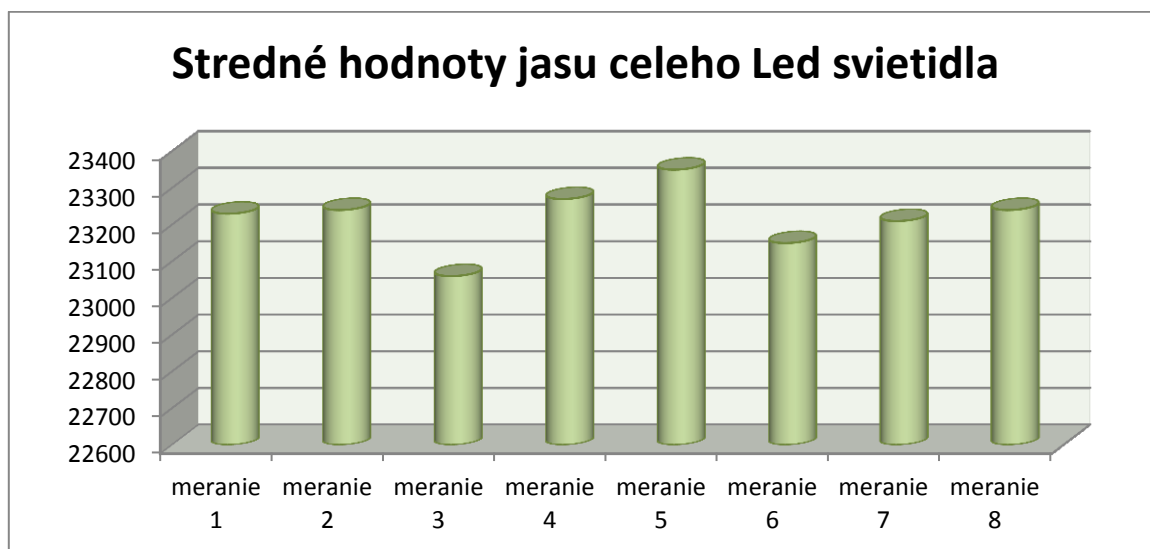
Obrázok 8 Jasová analýza vybranej LED diódy

V nasledujúcej tabuľke sú zhrnuté jasy maximálne, minimálne a ich stredné hodnoty z označenej plochy pre vybranú LED diódu zoradene podľa čísla merania.

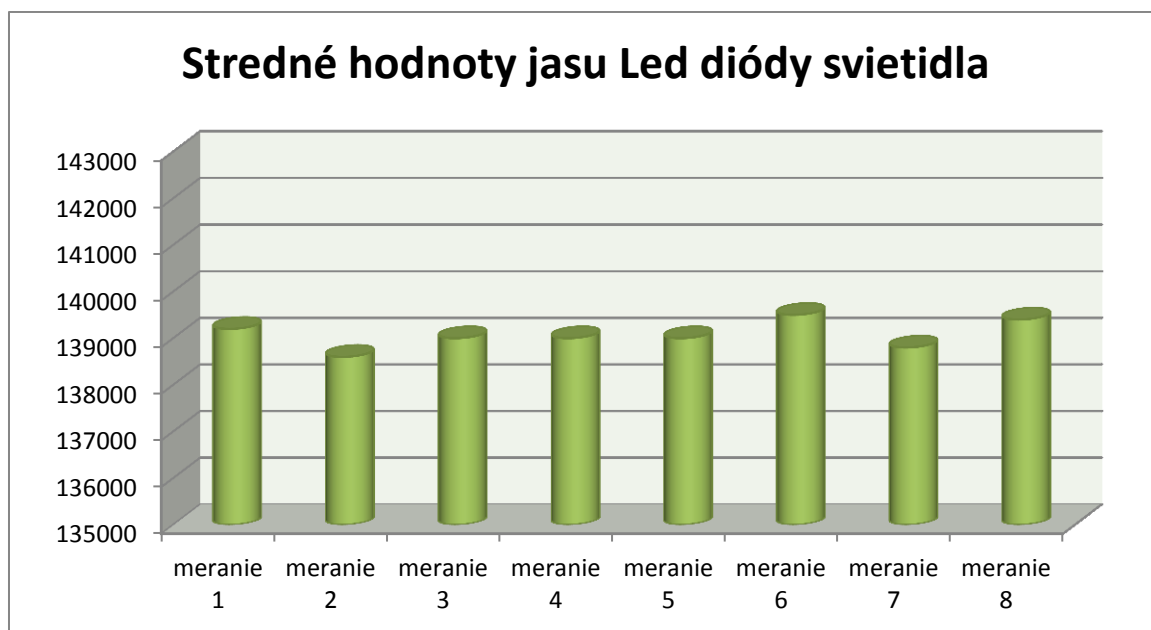
Tabuľka 3 Hodnoty jasov pre jednu LED diódu svietidla

Poradie	Oblasť	Min (cd·m ²)	Max (cd·m ²)	Stred.hod. (cd·m ²)
meranie 1	3881	11370	273200	139200
meranie 2	3881	11520	272300	138600
meranie 3	3881	11390	273300	139000
meranie 4	3881	11390	273300	139000
meranie 5	3881	11340	273000	139000
meranie 6	3881	11520	273600	139500
meranie 7	3881	11650	272400	138800
meranie 8	3881	11160	272200	139400

Nasledujúce grafy vykresľujú zmeny stredných hodnôt jasů pri meraniach LED svietidla a merania jednej vybranej LED diódy.



Obrázok 9 Graf stredných hodnôt jasů LED svietidla



Obrázok 10 Graf stredných hodnôt jasů LED diódy

2.7.1. Výsledky merania

Z výsledných hodnôt merania môžeme vidieť, že pri meraní LED svietidla bol pomer maximálnych jasov a stredných hodnôt približne k jednej tretine. V prípade merania samotnej LED diódy, stredné hodnoty jasov dosahuje hodnôt jednej polovice maximálneho jasov. Kolísanie jasov pri jednotlivých meraniach bolo približne v rovnakej miere. Osem meraní sa meralo kvôli tomu, aby sa predišlo odchýlkam pri meraní, ktoré môžeme pozorovať aj pri porovnávacích grafoch, kde stredné hodnoty kolíšu pri odchýlkach $\pm 650 \text{ cd}\cdot\text{m}^2$. Na posúdenie výkonového LED svietidla vychádza najlepšie parameter stredných hodnôt jasov celého svietidla, pretože v sebe zahŕňa aj hodnoty odrazových plôch, z čoho sa dal lepšie vyvodit' obraz o jase daného svietidla.

3. Možnosti usmernenia svetelného toku

3.1. Usmernenie svetelného toku

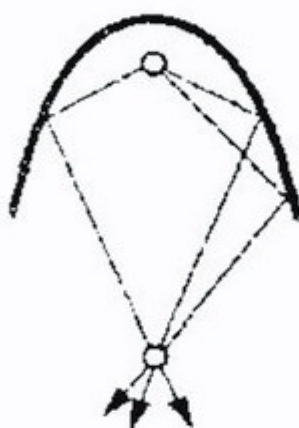
Svetelne činné časti slúžia k usmerneniu svetelného toku idúceho zo svietidla, k úprave krivky svietivosti, obmedzeniu oslnenia a filtrácii svetelného toku. Na kvalite optického systému rozhodujúcim spôsobom závisí parametre celého svietidla, v prvom rade jeho účinnosť.

Usmernenie svetelného toku sa realizuje pomocou nasledujúcich optických prvkov alebo ich kombináciou.

3.1.1. Reflektor

Mení rozloženie svetelného toku pomocou prevažne zrkadlových odrazov.

Pre výrobu reflektorov sa používajú zliatiny hliníka, potiahnuté kovy s prímiesou striebra so zrkadlovou povrchovou úpravou. Takéto reflektory sú z hľadiska dosiahnutia výborných parametrov svietidiel najlepšou voľbou, pretože dosahujú účinnosť až okolo 95 %.

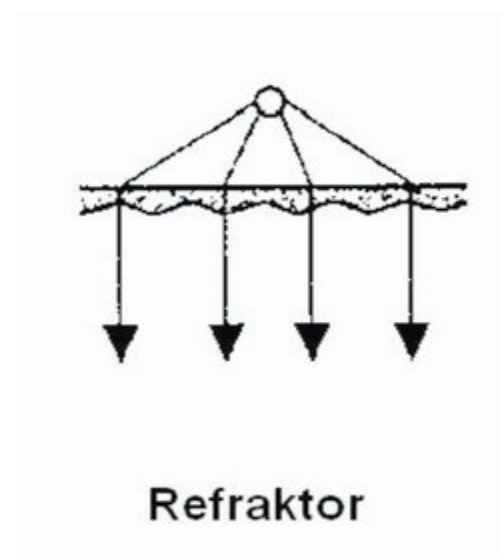


Reflektor

Obrázok 11 Reflektor

3.1.2. Refraktor

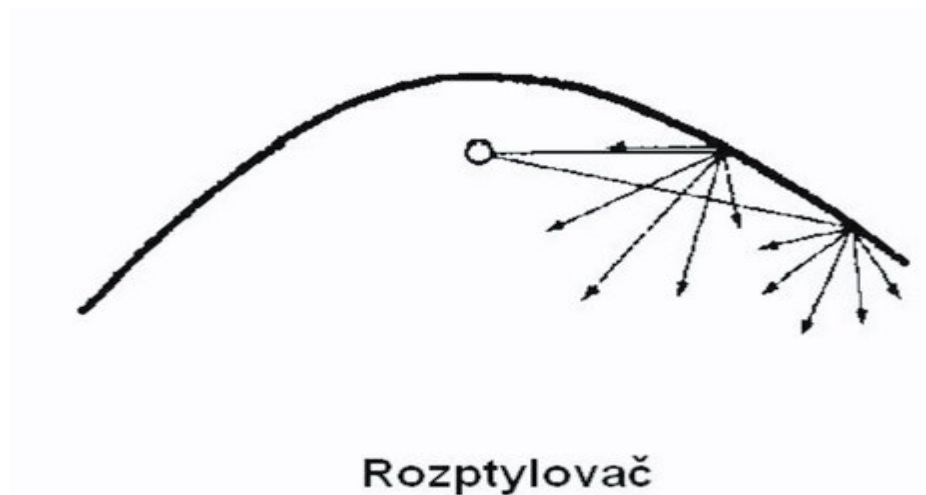
Mení rozloženie svetelného toku podľa optického zákona lomu. Refraktory svetidiel sa vyrábajú najčastejšie zo skla, PMMA, polystyrénu alebo iných plastov.



Obrázok 12 Refraktor

3.1.3. Difúzor (rozptyľovač)

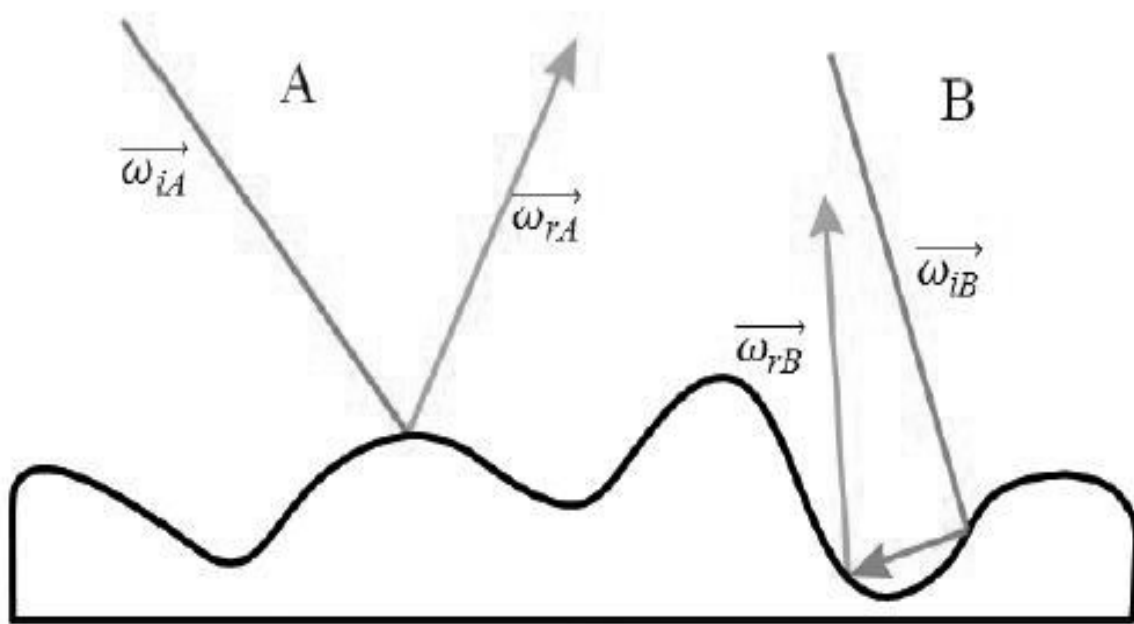
Rozptyľuje svetelný tok odrazom alebo prestupom a vyžaruje svetelný tok ako rovnomerne rozptylná plocha; rozlišujeme difúzory s rozptylným odrazom a s rozptylným prestupom.



Obrázok 13 Difúzor

3.2. Proces odrazu svetla

Povrch rôznych predmetov sa líši rozložením odrazeného svetelného toku do rôznych smerov priestoru. Povrch telesa je spravidla tvorený drobnými nerovnosťami, ktorých veľkosť a tvar sú dané mikroskopickým zložením konkrétneho materiálu. Jednotlivé lúče svetla, dopadajúce na taký povrch, sa môžu odraziť dvoma spôsobmi. Buď sa odrazia jednorázovo zrkadlovo od niektorej z plôch alebo sa viacnásobne odrazia alebo lámu.

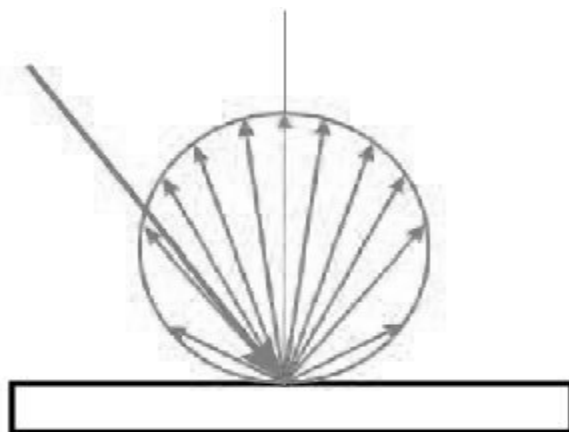


Obrázok 14 Odraz svetla

Pri odraze zväzku lúčov do bodu na povrchu telesa dôjde väčšinou ku kombinácii jednorázových a viacnásobných odrazov od mikroskopickej štruktúry povrchu a k určitému rozkladu rozloženého svetelného toku do priestoru.

3.2.1. Druhy odrazu

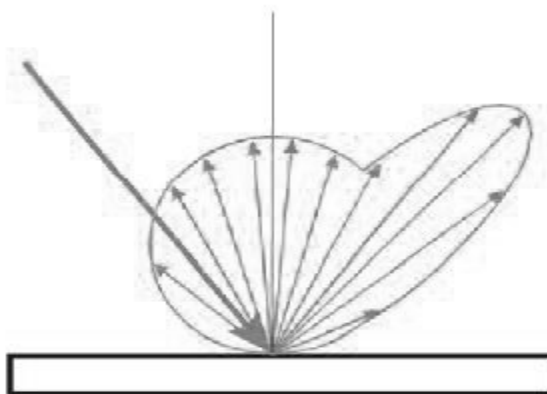
Bežne používané výpočtové programy pre modelovanie svetelných scén sú založené na predpoklade, že v svetelnej scéne nenachádza iba ideálny rozptyľovač. Tento prípad je charakterizovaný guľovou fotometrickou plochou svietivosti.



Obrázok 15 Ideálny rozptyľovač

Jas povrchu ideálneho rozptyľovača je konštantný pri pohľade z akéhokoľvek smeru, čo zjednodušuje výpočet svetelne technických parametrov takejto scény. Odrazné vlastnosti môžeme charakterizovať smerovo nezávislým integrálnym činiteľom odrazu $\rho(x)$.

Niektoré materiály vykazujú odrazné vlastnosti veľmi blízke ideálnemu rozptyľovaču. Vo väčšine materiálov ale dochádza k zmiešanému odrazu (kombinácia zrkadlového a difúzneho odrazu). Jas povrchu vykazujúci kombinovaného odrazu nie je konštantný, fotometrická plocha jasu aj svietivosti má vo všeobecnosti tvar:



Obrázok 16 Kombinovaný odraz

3.2.2. Viacnásobné odrazy

Pri viacnásobných odrazoch svetla zohráva významnú úlohu veľkosť integrálneho činiteľa odrazu. Určenie integrálneho činiteľa odrazu je pri materiáloch so zmiešaným odrazom zložité, pretože odrazové vlastnosti materiálov sú rozdielne pre rôzne smery dopadu a odrazu svetla. Dá sa teda určiť iba akýsi ekvivalent integrálneho činiteľa odrazu, ktorý pri modelovaní viacnásobných odrazov charakterizuje odrazové vlastnosti zmiešaného odrážajúceho materiálu podobne, ako by išlo o ideálny rozptyľovač.

3.2.3. Závojové oslnenie odrazom

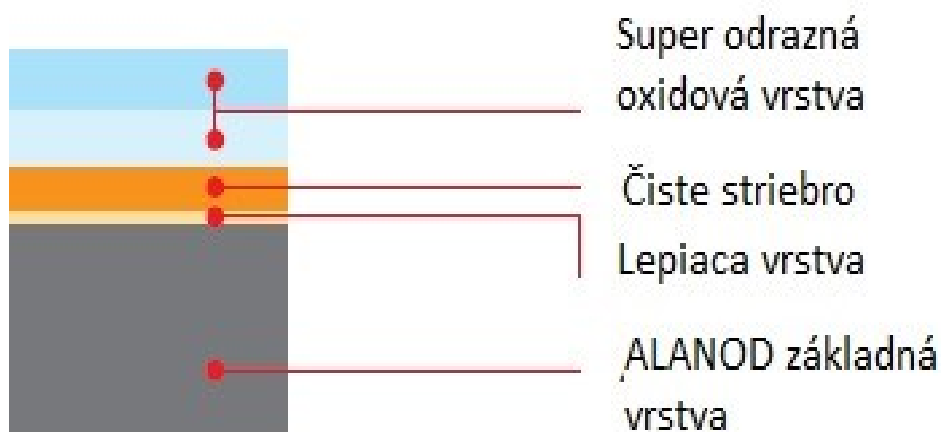
Odrazy svetla v mieste zrkového úkonu môžu zhoršiť viditeľnosť. Závojové oslnenie odrazom môže byť obmedzené alebo zmenšené týmito spôsobmi:

- usporiadaním svietidiel a pracovných miest
- povrchovou úpravou (matné povrchy)
- obmedzením jasů svietidiel
- zväčšením svietiacich plôch svietidla
- svetlým stropom a svetlými stenami

3.3. Materiály používané na usmernenie odrazu svetla

3.3.1. Leštený hliník so striebrom (Miro-Silver®)

V roku 2003 firma ALANOD predstavila materiál MIRO-SILVER® s celkovou odrazivosťou >98%, čím ešte zdokonalila materiály používané v svetelnej technike na usmernenie odrazu svetla. Firma ALANOD ponúka širokú škálu štandardných produktov s vysoko reflexnými povrchmi. Ako základný princíp tvorí vysoko leštený hliník, ku ktorému je pre ešte zlepšenie vlastností pridané striebro.



Obrázok 17 Štruktúra lešteného hliníka so striebrom

MIRO-SILVER® 27 | 4270 AG

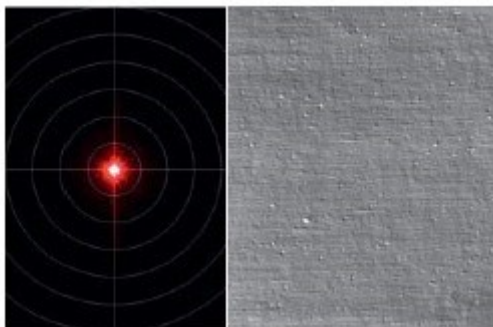
Povrch s vysokým leskom

S nízkym difúznym odrazom <6%

Veľmi malý preferitný smer

Optický zrkadlový efekt

S vysokým jasom



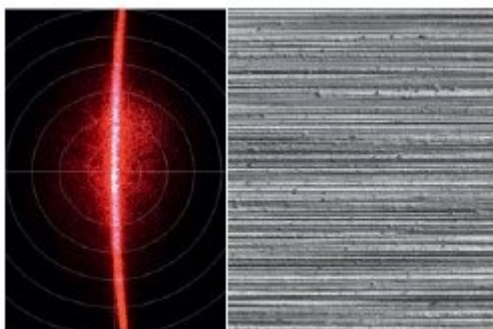
Obrázok 18 MIRO-SILVER® 27 | 4270 AG

MIRO-SILVER® 5 | 5013 AG

Čiastočná úprava povrchu so silným preferenčným smerom

Slabý difúzny odraz

Biely vzhľad vďaka zliatine horčíka v substráte



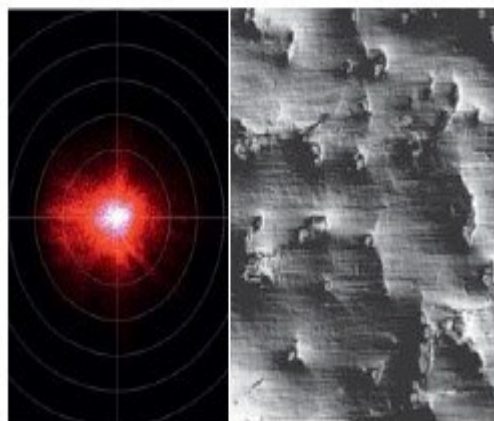
Obrázok 19 MIRO-SILVER® 5 | 5013 AG

MIRO-SILVER® 8 | 5100 AG

Matný povrch s difúznym odrazom na hodnote asi 68 - 75%,

Žiadny preferenčný smer

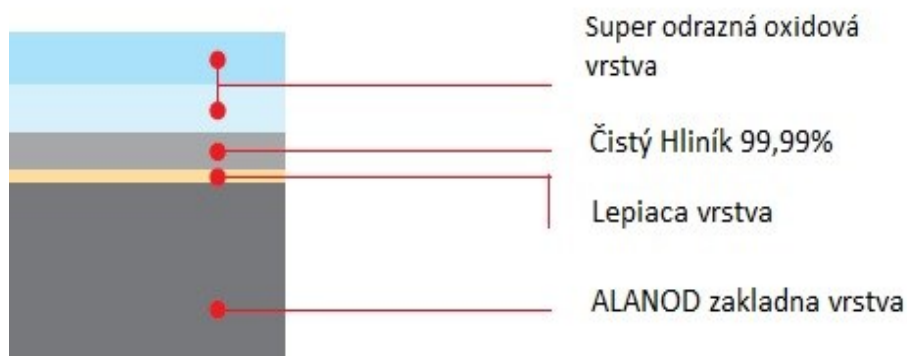
Vysoký jas



Obrázok 20 MIRO-SILVER® 8 | 5100 AG

3.3.2. Vysoko leštený hliník (Miro®)

V polovici 90. rokov začala firma ALANOD ponúkať širokú škálu vysoko leštených hliníkov MIRO®. Odrazivosť pri týchto materiáloch bola 95% ,čo sa veľmi hodilo na výrobu reflektorov v svetelnej technike. Rozsah sortimentu zahŕňa ako izotropné tak aj anizotropné odrazné vlastnosti, rôzne stupne difúzneho alebo zrkadlového odrazu a rôzne úrovne jasu.



Obrázok 21 Štruktúra vysoko lešteného hliníka

MIRO ® 2 | 4200 GP

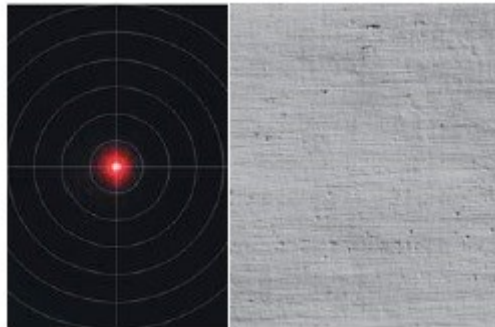
Povrch s vysokým leskom

s nízkym difúznym odrazom <5%

žiadnym prioritným smerom

optický zrkadlový efekt

s vysokým jasom



Obrázok 22 MIRO ® 2 | 4200 GP

MIRO ® 4 | 4400 GP

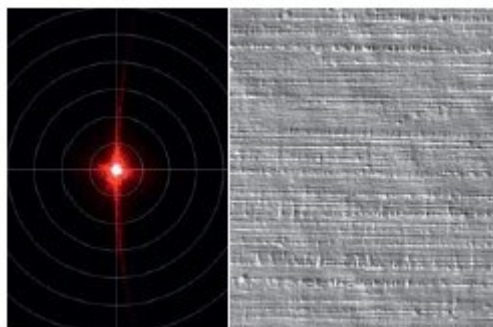
Povrch s vysokým leskom

S nízkym difúznym odrazom <12%

Nízky preferenčný smer

Optický zrkadlový efekt

Vysoký jas

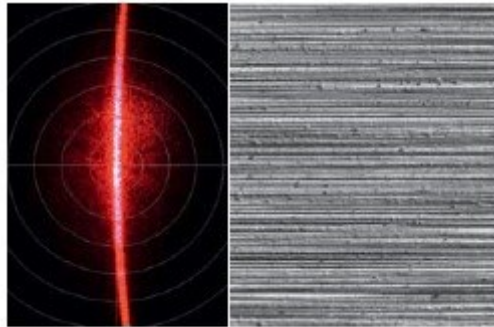


Obrázok 23 MIRO ® 4 | 4400 GP

MIRO ® 5 | 5011 GP

Čiastočná úprava povrchu so silným preferenčným smerom

S vysokým difúznym odrazom o hodnote 80 - 90%



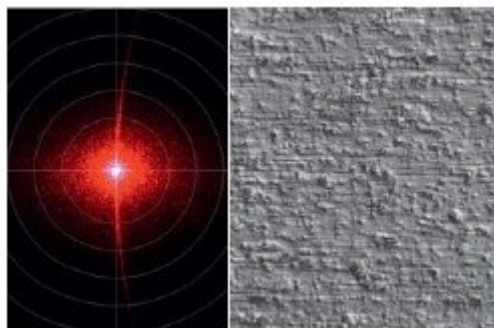
Obrázok 24 MIRO ® 5 | 5011 GP

MIRO ® 6 | 6000 GP

Polozrkadlové plochy

S difúznym odrazom okolo 50%

Takmer žiadny preferenčný smer



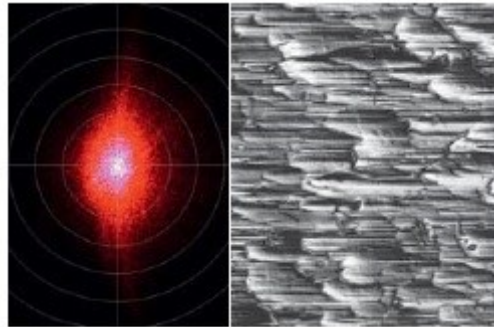
Obrázok 25 MIRO ® 6 | 6000 GP

MIRO ® 7 | 5000 GP

Matný reflektor

S vysokou mierou difúzneho odrazu 84 - 90%.

Preferenčný smer je proti smere valcovania



Obrázok 26 MIRO ® 7 | 5000 GP

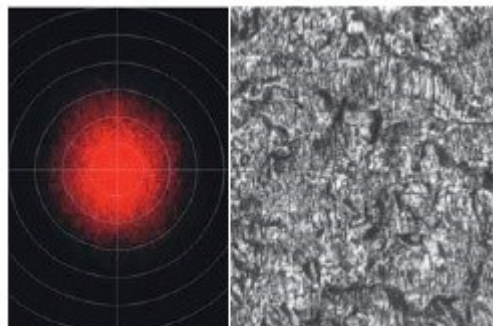
MIRO ® 20 | 2000 GP

Rozptýlený lesklý povrch

S celkovým difúznym odrazom

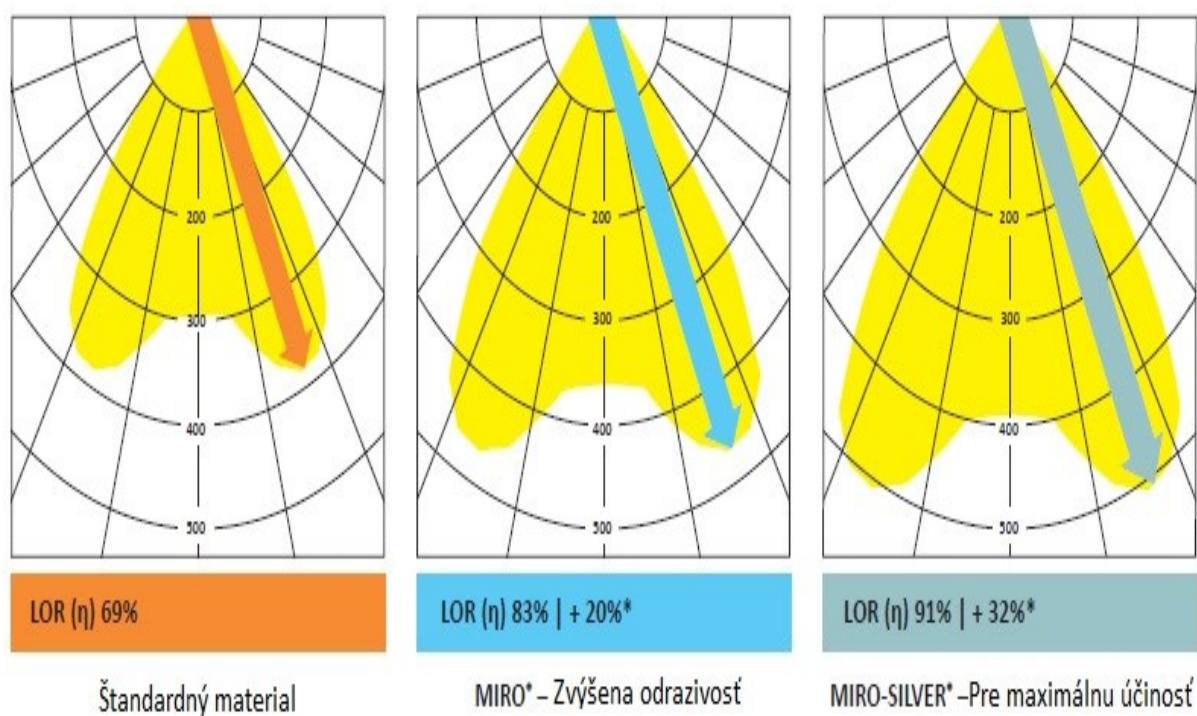
bez preferenčného smeru

Zvýšenie hodnoty jasnosti nižším uhlom dopadu



Obrázok 27 MIRO ® 20 | 2000 GP

3.3.3. Porovnanie materiálov



Obrázok 28 Porovnanie materiálov používaných na usmernenie

4. Odrazné a priepustné vlastnosti optických materiálov

4.1. Materiály používané na výrobu LED šošovky

4.1.1. PMMA (Polymetylmetakrylát)

Základnou zložkou pre výrobu plexiskla je acetón, z ktorého je syntetizovaný acetonkyanhydrin. Ten je pomocou kyseliny sírovej premenený na methakrylamid sulfát. Methakrylamid sulfát reaguje s metanolom za vzniku metylmetakrylátu, čo je metyl ester kyseliny akrylovej a základný prvok PMMA, ktorý sa ďalej vyrába polymerizáciou. K vyrobeniu 1kg-mu PMMA je potrebné asi 2 kg surovej ropy. Plexisklo vyvinula v roku 1928 a komerčne uviedla na trh v roku 1933 spoločnosť Rohm and Haas.

PMMA je priepustné pre infračervené svetlo v rozsahu vlnových dĺžok

2,8 – 25 mikrometra, pohlcuje žiarenie kratšie ako 300 nm (ÚV žiarenie). Pracovnú teplotu pri použití ako šošovka LED má od -40C do 80C a priepustnosť prechádzajúceho svetla sa udáva 93%



Obrázok 29 Polymetylmetakrylát

4.1.2. PC (Polykarbonáty)

Patria medzi termoplastické polyméry čiže termoplasty. Ľahko sa spracovávajú napr. vstrekováním alebo lisovaním za tepla. Majú dobrú tepelnú odolnosť, odolnosť proti nárazu a dobré optické vlastnosti. Patria preto medzi komoditné plasty. Vyrábajú sa polykondenzáciou.

Pracovnú teplotu pri použití ako šošovka LED majú od -40C do 120C a prestup svetla sa udáva na 91%



Obrázok 30 Polykarbonáty

4.1.3. Organické LED diódy – OLED

Skratka OLED pochádza z anglického názvu Organic Light-Emitting Diode. Organickú diódu vyvinula firma Estman Kodak v roku 1987. Princíp spočíva v umiestnení niekoľkých vrstiev organickej látky medzi kovovú katódu a priehľadnú anódu. Organické vrstvy dokážu vypudzovať a prenášať diery a tiež prenášať elektróny. Vo vyžarovacej vrstve po pripojení napätia na elektródy rekombinujú vytvorené elektróny a diery. Tým vzniká vyžarovanie žiarenia. Displeje vytvorené z OLED diód rozdeľujeme na displeje s pasívnou maticou PMOLED a s aktívnou maticou AMOLED.

Jednoduchšie PMOLED nachádzajú využitie pri zobrazovaní textu a sú podobné jednoduchým LCD displejom (DSTN, STN). Zložitejšie displeje s aktívnou maticou bývajú používané v náročných grafických aplikáciách s veľkým rozlíšením podobne ako LCD displeje TFT.

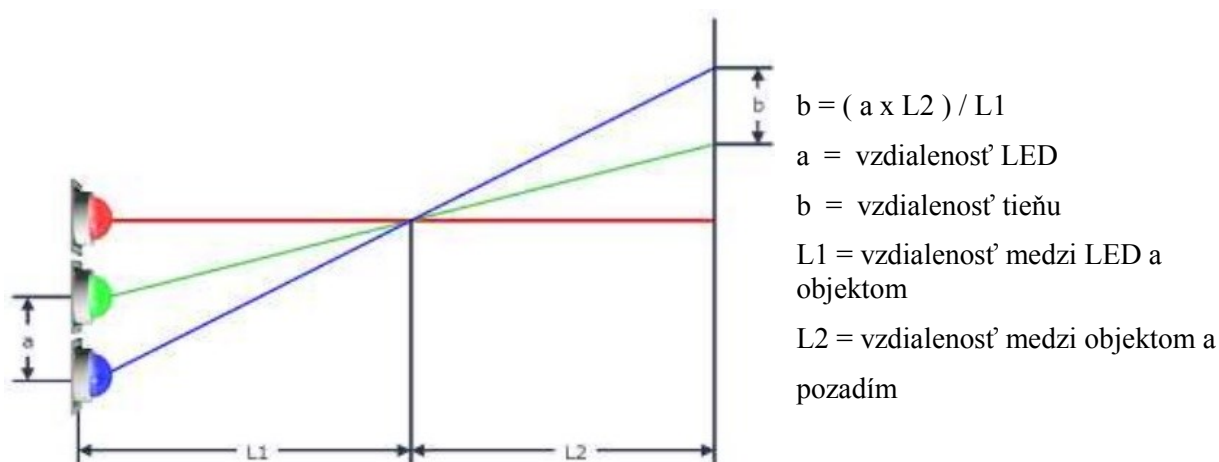
Ďalšie použitie OLED diód je v oblasti senzorov a displejov pre nočné videnie, u ktorých býva fluorescenčné farbivo vo vyžarovacej vrstve nahradzované dopujúcou fosforečnou látkou metaloporphyrinom (Pt).

4.2. Efekt viacnásobného tieňa

Ide o jav, keď predmet, umiestnený medzi viacerými svetelnými zdrojmi na matnici vytvorí viac tieňov. Typickým príkladom býva kúpeľňa, kde je nad umývadlom inštalované viacbodových svetiel.

LED diódy umiestnené blízko seba vytvárajú viacnásobné tieňe, ktoré sú taktiež blízko pri sebe. Tento jav môže byť v danej aplikácii nežiaduci. Pri návrhu treba posúdiť, nakoľko je jav viacnásobného tieňa na škodu a či

použitie tienika vyváži optickú stratu spojenú s jeho použitím.



Obrázok 31 Efekt viacnásobného tieňa

4.3. LED s prídavnou optikou

Prídavné optiky sú optické elementy používané ku tvarovaniu svetelného kužela holej LED diódy. Hlavné typy týchto optik sú optiky odrazové, keď sa svetlo odráža od zrkadlového povrchu reflektora a optiky založené na lome svetla vo vnútri optického prostredia (obvykle sklo alebo optické plasty).

Použitie prídavných optik umožňuje tvarovanie svetelného kužela každej LED diódy do konkrétnej podoby tak, aby bolo dosiahnuté požadovanej vyžarovacej charakteristiky svietidla. Napríklad svetelný kužeľ LED diód môžeme prídavnou optikou zúžiť tak, že výsledkom bude napríklad bodové svietidlo. Nevýhodou je, že tento postup zvyšuje výslednú cenu. Vzhľadom k tomu, že optiky sú pripevnené ku každej LED dióde, nezbavíme sa tak viacnásobného tieňa. Rovnako tým znižujeme optickú účinnosť svietidla.

5. Meranie jasů a vyhodnotenie jasů LED svietidla v závislosti na použitom type difúzora

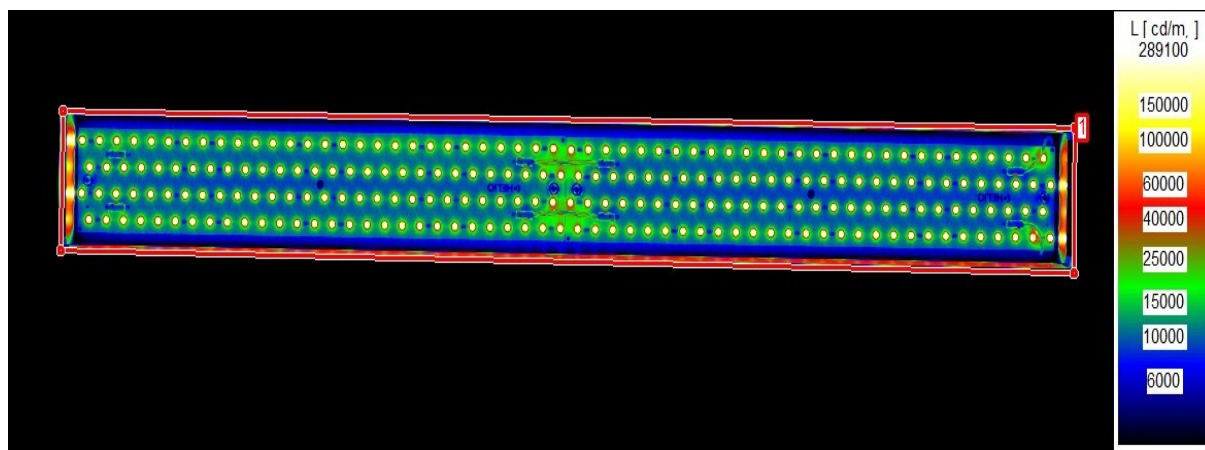
Meranie prebiehalo 17.1. 2013 v laboratóriu 01 v areáli školy VŠB TU Ostrava v budove „L“. Všetky difúzory boli pripevnene na svietidlo Helio Coridor ULED 20W.

Meranie bolo prevedené na difúzoroch typu

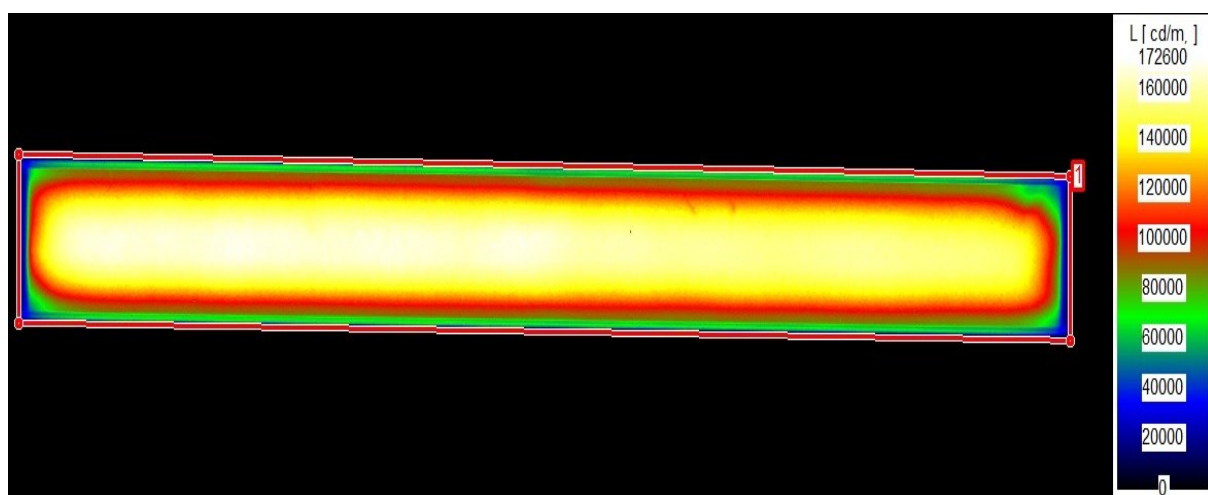
- Satine
- Mikroprizma
- Prizma

Ku spracovaniu nameraných fotografií poslužil software LMK Labsoft ako v predchádzajúcom meraní. Meriacim prístrojom použitým k tomuto meraniu bol rovnako prístroj Canon EOS450D. Expozičná úroveň v sériách bola E0,001; E0,01; E0,1; E1 a E10 .

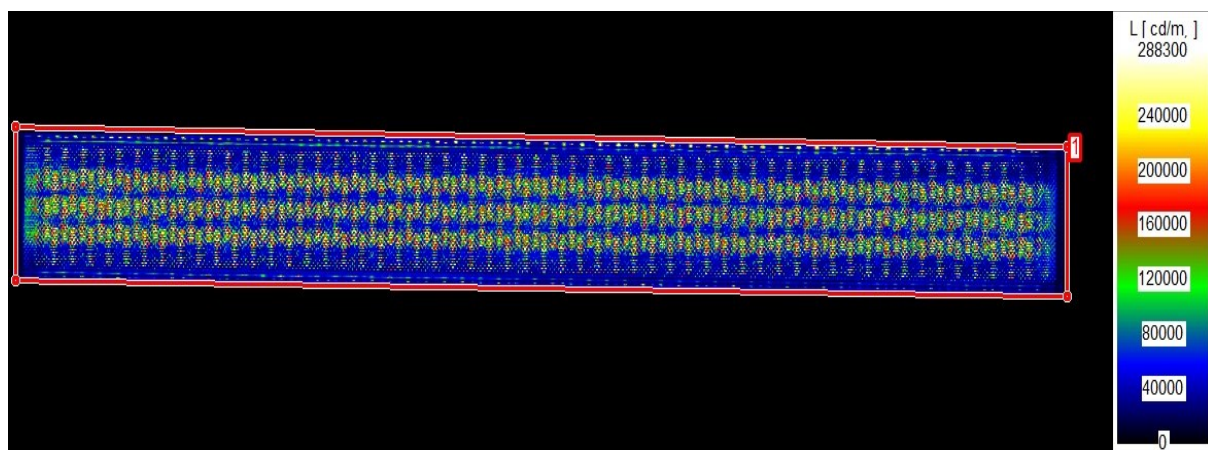
Obrázok znázorňuje jasovú mapu profilov Satine Prisma a Mikroprizma po spojení sérií snímok s rozdielnou úrovňou expozície a určení pracovnej časti, z ktorej boli zistené hodnoty jasů. Na porovnanie zmeny jasů svietidla je pridaný aj snímok tohto svietidla bez použitia difúzora, kde sa dá pekne vidieť pokles účinnosti, ale aj potlačenie osľňujúcich jasův.



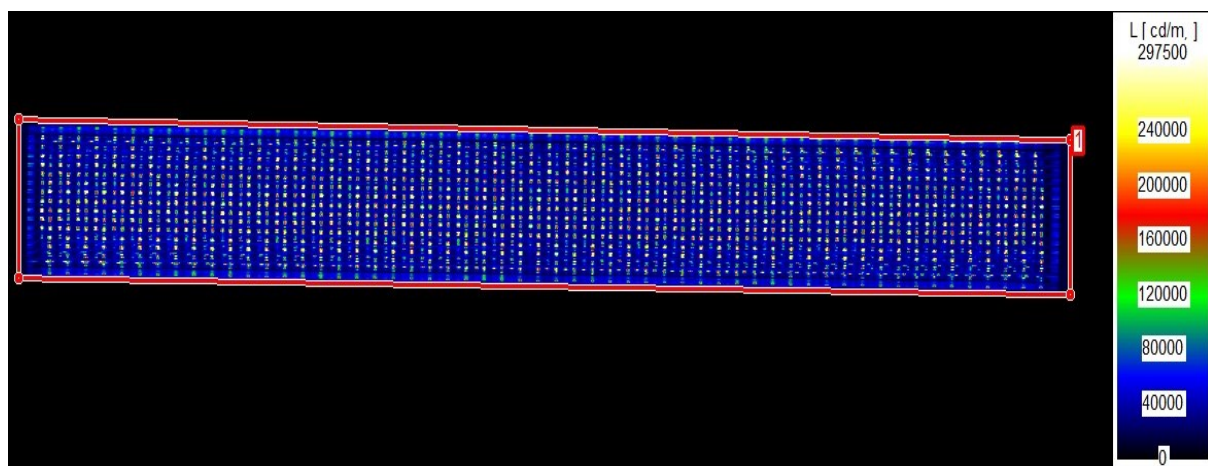
Obrázok 32 LED svietidlo bez použitia difúzora



Obrázok 33 Jasová mapa s použitím difúzora s profilom SATINE



Obrázok 34 Jasová mapa s použitím difúzora PRIZMA



Obrázok 35 Jasová mapa s použitím difúzora MIKROPRIZMA

V nasledujúcich tabuľkách sú uvedené výsledné hodnoty maximálnych, minimálnych a stredných hodnôt jasu. Pri každom type difúzora boli vykonané tri série meraní. V prvej z tabuliek sú uvedené jasy svietidla bez použitia difúzora.

Tabuľka 4 Hodnoty jasov LED svietidla bez použitia difúzora

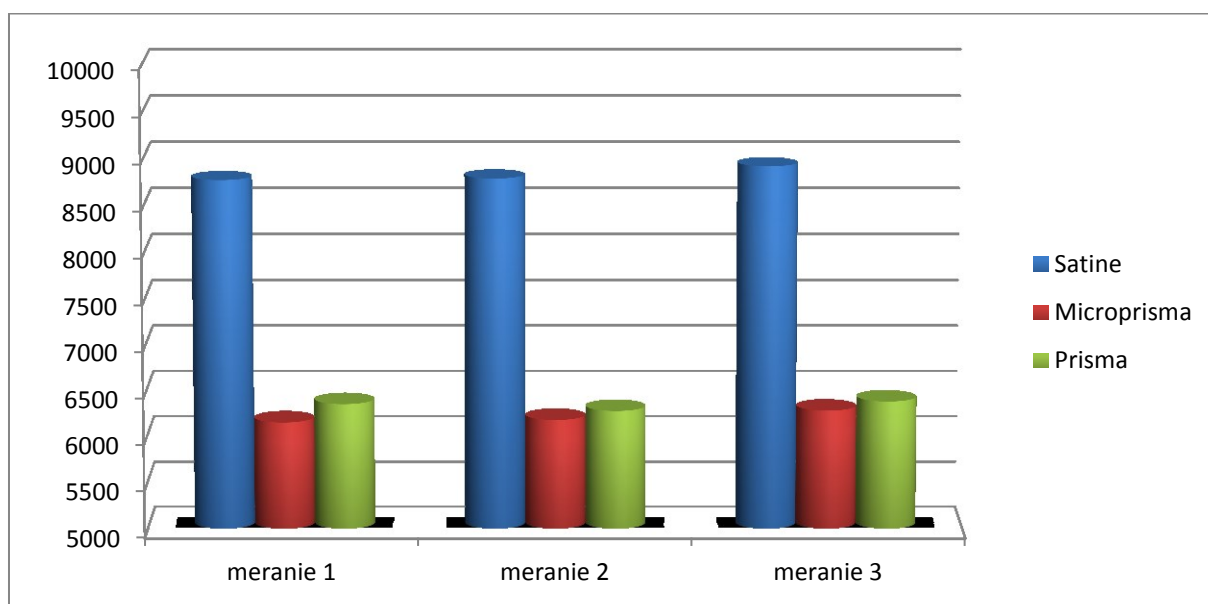
Poradie	Oblasť	Min (cd·m ²)	Max (cd·m ²)	Stred.hod. (cd·m ²)
meranie 1	4354	477,7	67800	23230

V tabuľke 5 sú pri uvedených jasoch aj prepočítaná účinnosť svietidla s jednotlivými difúzormi v porovnaní so strednou hodnotou svietidla bez použitia difúzora.

Tabuľka 5 Hodnoty jasov podľa použitého difúzora

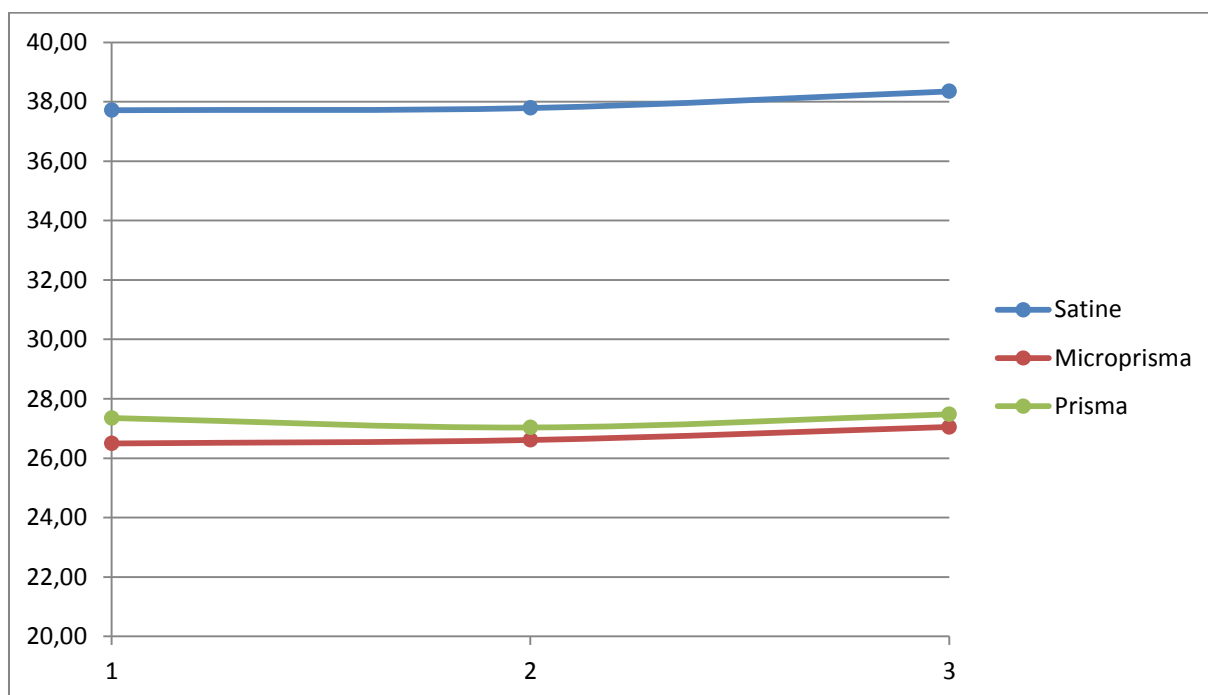
Satine					
Poradie	Oblasť	Min (cd·m ²)	Max (cd·m ²)	Stred.hod. (cd·m ²)	Účinnosť (%)
meranie 1	4538	359,3	12470	8761	37,71
meranie 2	4538	331,1	12410	8778	37,78
meranie 3	4538	211,3	12810	8908	38,34
Microprisma					
meranie 1	4538	300,5	20180	6155	26,49
meranie 2	4538	384,9	20360	6182	26,61
meranie 3	4538	220,7	20990	6284	27,05
Prisma					
meranie 1	4538	99,7	12840	6354	27,35
meranie 2	4538	205,6	12580	6280	27,03
meranie 3	4538	237,9	13320	6383	27,47

Výsledný graf, kde sú porovnané jednotlivé difúzory podľa stredných hodnôt jasu.



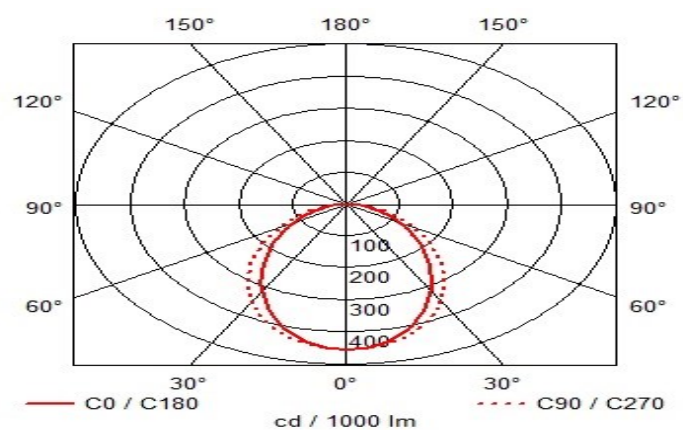
Obrázok 36 Graf porovnanie difúzorov podľa stredných hodnôt

Výsledné účinnosti v porovnaní so svetidlom bez použitia difúzora.

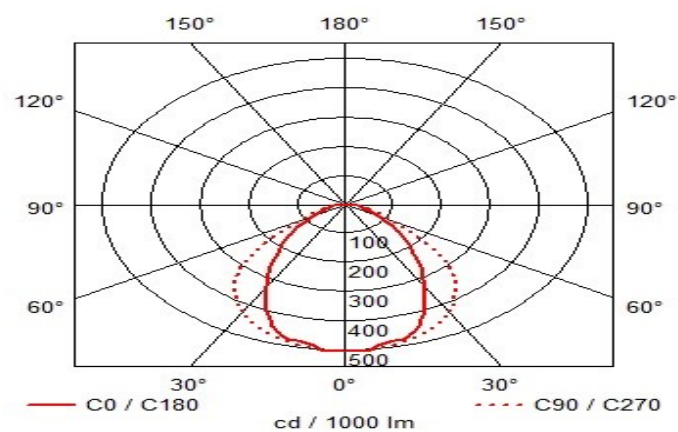


Obrázok 37 Graf znázorňujúci účinnosť pri použití difúzorov

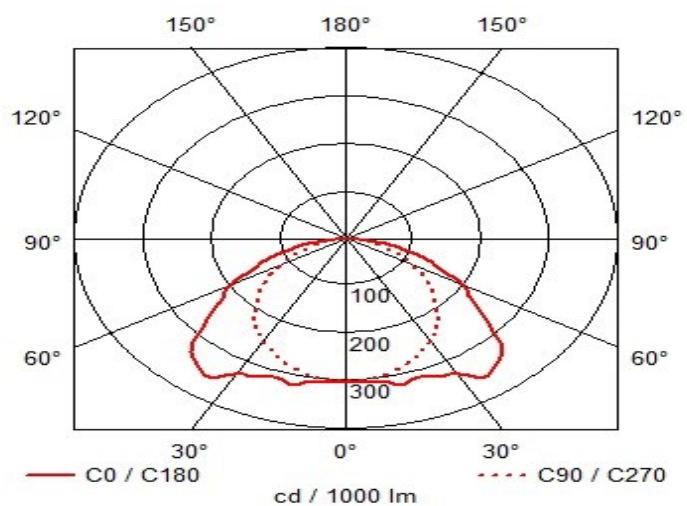
Porovnanie difúzorov podľa tvaru kriviek svetivosti



Obrázok 38 Krivka svetivosti pre Prisma



Obrázok 39 Krivka svetivosti pre Mikroprizma



Obrázok 40 Krivka svetivosti pre SATINE

6. Porovnanie vyžarovania svietidla osadeného žiarivkami a LED diódou s podobnými svetelnými tokmi

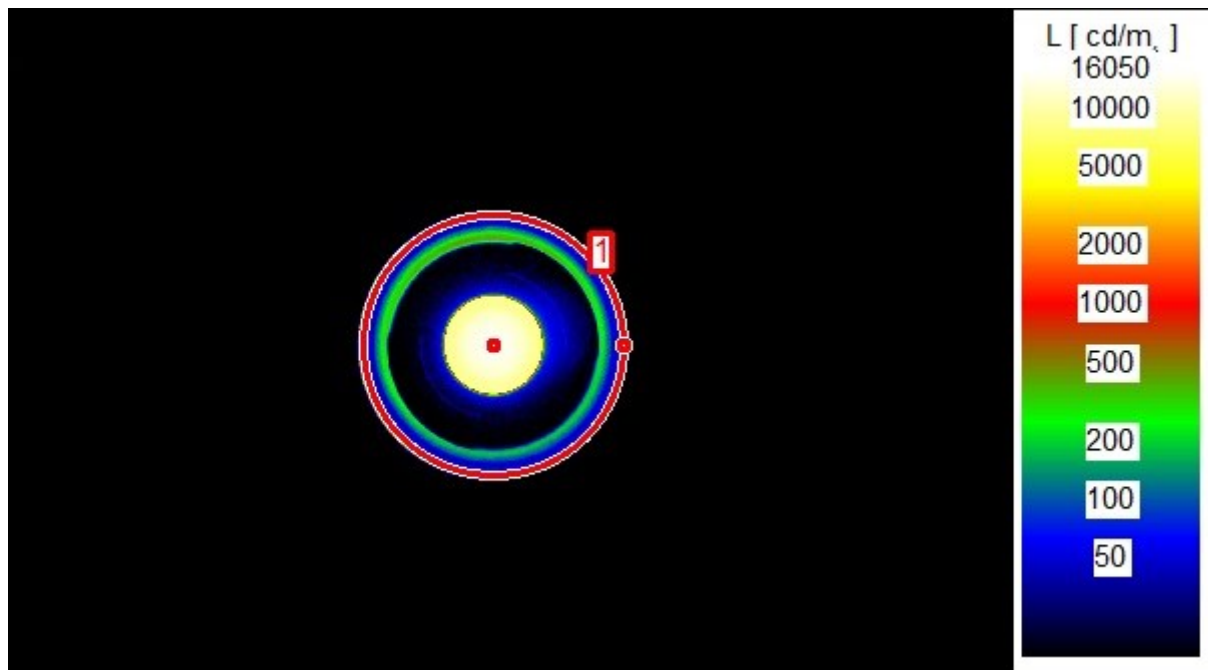
Meranie bolo vykonané 4.3.2013 v laboratóriu 01 v areáli VŠB-TU Ostrava – Poruba v budove “L”. Použité svetelné zdroje boli dve svietidla od výrobcu Thorn.

Jedno svietidlo bolo s LED zdrojom CHALICE 190H LED 2000 TWIST. Druhé svietidlo so žiarivkovým zdrojom CHALICE 190H PC 2x26 TC-DEL HF. Ku spracovaniu nameraných fotografií poslúžil software LMK Labsoft ako v predchádzajúcom meraní. Prístrojom použitým k tomuto meraniu bol rovnako prístroj Canon EOS450D. Expozičná úroveň v sériách bola E0,005; E0,01; E0,015 .



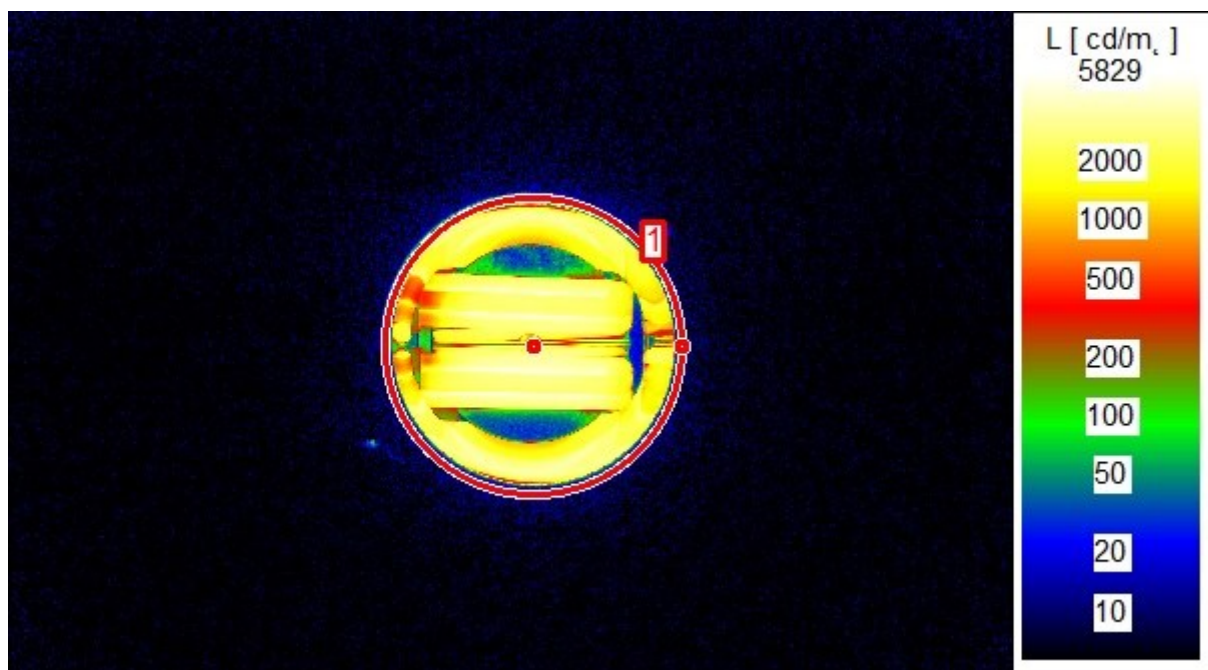
Obrázok 41 Porovnávané svietidlá

Nasledujúca snímka zobrazuje jasové pole LED svietidla Thorn CHALICE 190H LED 2000 TWIST po spojení v Programe LMK Labsoft zo série snímok a vyznačením pracovnej plochy.



Obrázok 42 Jasova analýza LED svietidla

Na tejto snímke je zachytené jasové pole svietidla Thorn CHALICE 190H PC 2x26 TC-DEL HF po spojení sérií snímok a označení pracovnej plochy.



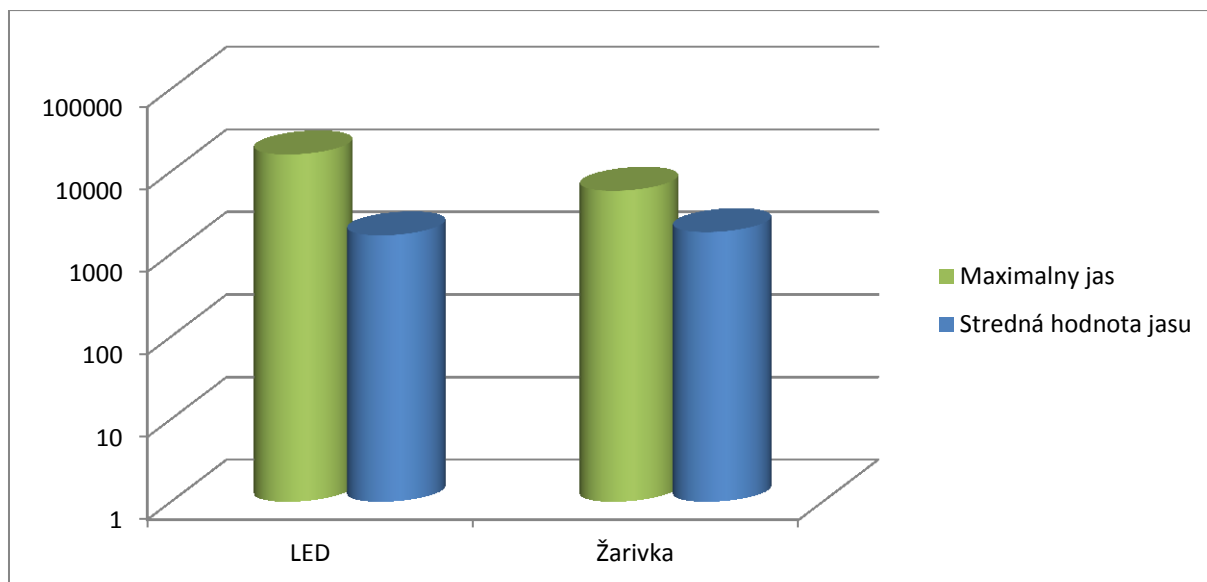
Obrázok 43 Jasova analýza žiarivkového svietidla

V tabuľke sú uvedené hodnoty veľkosť pracovnej plochy, minimálny jas, maximálny jas a stredné hodnoty jasu. Môžeme vidieť, že maximálny jas LED svietidla Thorn CHALICE 190H LED 2000 TWIST výrazne prevyšuje svietidlo so žiarivkovým zdrojom.

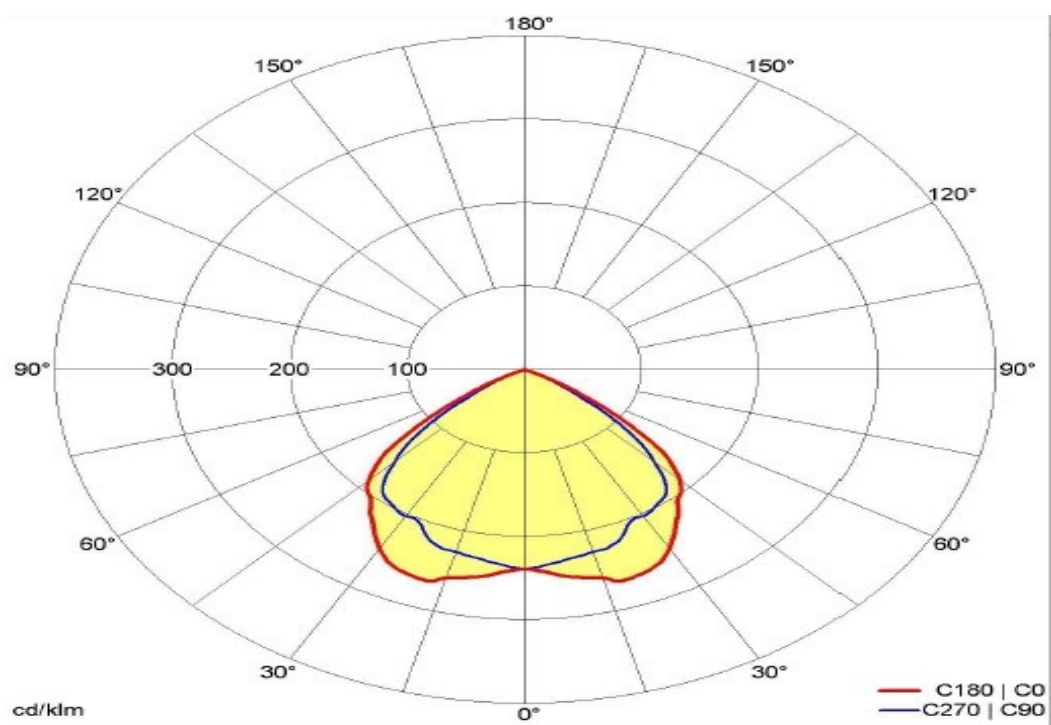
Tabuľka 6 Výsledné jasy porovnavania

	Oblasť	Min (cd·m ²)	Maximálny jas (cd·m ²)	Stredná hodnota jasu (cd·m ²)
LED svietidlo	243500	0	16050	1682
Žiarivkové svietidlo	316500	0,6655	5829	1844

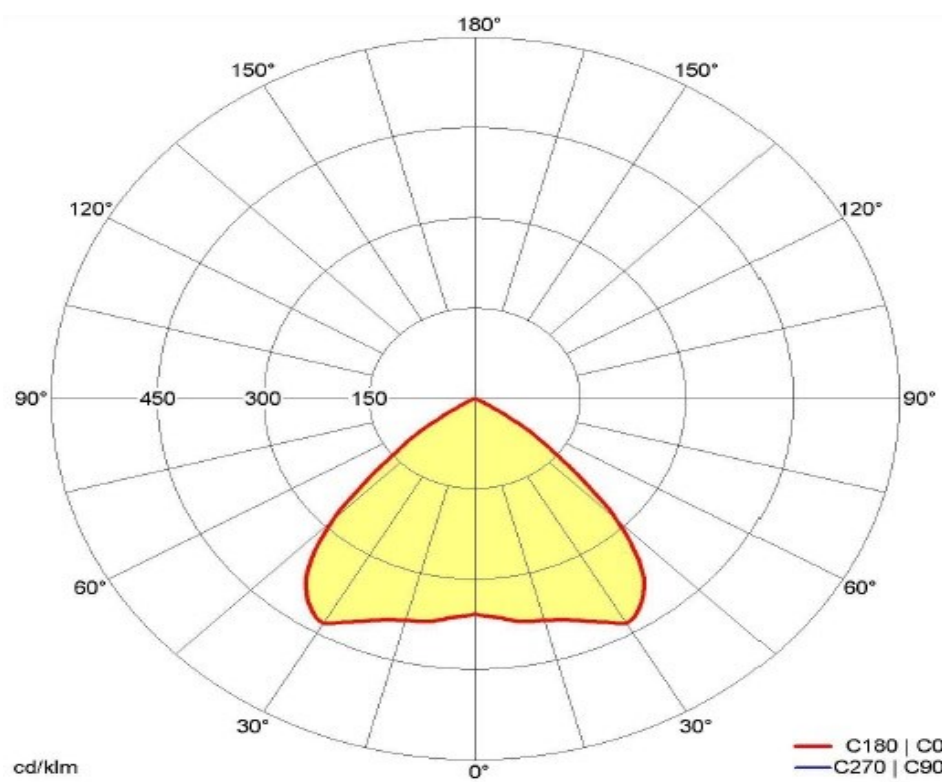
V nasledujúcom grafe sú porovnané výsledné maximálne a stredné hodnoty jasu, kde môžeme vidieť, že žiarivkové svietidlo dosahuje lepšie výsledky. Pretože žiarivka nevyžaruje až prílišné maximálne jasy ako to je u LED svietidla, ale zároveň má lepšie hodnoty stredných hodnôt jasov. Pri LED svietidle je to nevyrovnané, keď pri maximálnych jasoch dosahuje až trojnásobne hodnoty žiarivkových hodnôt, ale pri stredných hodnotách dopadá horšie, keď že pri jasovej analýze sa objavili miesta aj s nulovým jasom, čo je zároveň príčinou, prečo nedosahuje lepšie hodnoty pri stredných hodnotách jasov.



Obrázok 44Graf porovnávajúci stredné hodnoty jasu



Obrázok 45 Krivka svetivosti žiarivkového svetidla



Obrázok 46 Krivka svetivosti LED svetidla

7. Odporúčania pri návrhu optických systémov u svietidiel osadených LED

Pre dosiahnutie výbornej spoľahlivosti a získania záruky dlhej životnosti, je vhodné pre aplikáciu výkonových LED uvažovať o výkonových LED od renomovaných svetových výrobcov. Podľa týchto parametrov si správne vyberáme určitú výkonovú LED pre našu aplikáciu.

Medzi najdôležitejšie parametre špecifikácie pri výkonových LED patrí:

- vyžarovací uhol
- rozloženie jasů
- CRI = Color Rendering Index
- svietivosť - intenzita svetelného žiarenia
- teplota chromatickosti
- svetelná účinnosť
- účinnosť
- teplotná závislosť
- životnosť

7.1. Rozloženie jasů

Rozloženie jasů v zornom poli určuje úroveň adaptácie zraku, ktorá ovplyvňuje viditeľnosť.

Veľmi dobre vyvážený adaptačný jas je potrebný na zlepšenie:

- ostrosti videnia
- kontrastnej citlivosti (rozlíšenie malých rozdielov jasů)
- účinnosti zrakových funkcií (ako akomodácia, konvergencia, zmenšovanie zornice atď.)

Rozloženie jasů v zornom poli ovplyvňuje tiež zrakovú pohodu. Z toho to dôvodu je nutné vylúčiť:

- príliš veľké jasů, ktoré môžu spôsobovať oslnenie
- príliš veľké kontrasty jasů, ktoré môžu spôsobovať únavu v dôsledku nepretržitej readaptácie

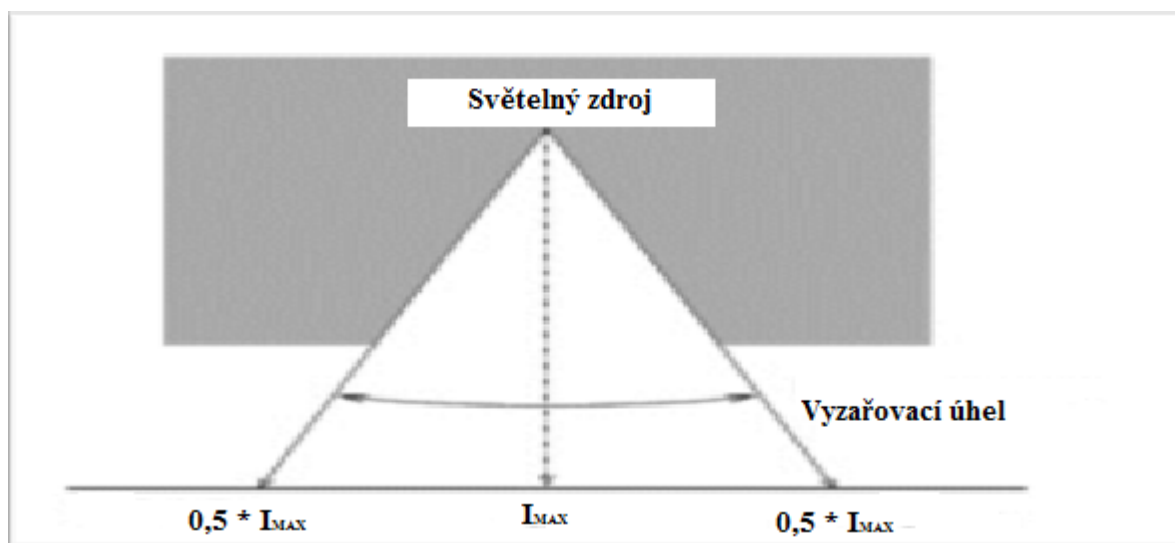
- príliš malé jasy a kontrasty jasov, ktoré môžu spôsobovať monotónne a nestimulujúce pracovné prostredie.

Účelný rozsah činiteľov odrazu hlavných povrchov miestnosti:

- strop 0,6 až 0,9
- steny 0,3 až 0,8
- pracovné roviny 0,2 až 0,6
- podlaha 0,1 až 0,5

7.2. Vyžarovací uhol

Vyžarovací uhol výkonovej LED vyjadruje rozptyl vyžiareného výkonu od optickej osi výkonovej LED. Vyžarovací uhol výkonovej LED sa pohybuje v rozsahu 15 - 180°, ale typická hodnota vyžarovacieho uhla sa pohybuje od hranice 90° až k hodnotám prevyšujúcim hodnotu 140°. Typickú hodnotu vyžarovacieho uhla väčšina výrobcov uvádza pri poklese intenzity emitovaného svetla LED na 50 % hodnoty maximálnej intenzity žiarenia. Vyžarovací uhol svetla je teda viac než dostatočný pre použitie výkonových LED v množstve bežných aplikácií. Vyžarovací uhol môžeme ovplyvniť veľkosťou odrazenej plochy či čočky, ale tiež rozmermi a umiestnením LED čipu.



Obrázok 47 Ukážka vyžarovacieho uhla

7.3. CRI = Color Rendering Index

CRI (Color Rendering Index = index podania farieb) je hodnotenie pravdivosti farebného podania, ktoré vznikne osvetlením zo zdroja, v porovnaní s tým, aké farebné podanie by vzniklo pri svetle slnečnom.

Pre vyjadrenie parametrov indexu podania farieb slúži hodnota R_a , ktorá sa pohybuje v rozmedzí hodnôt od 0 do 100. Hodnota $R_a = 0$ znamená, že pri tomto osvetlení nie je možné rozoznať farby. Naproti tomu hodnota $R_a = 100$ vyjadruje, že ide o „vysoko“ kvalitný svetelný zdroj, ktorý umožňuje prirodzené podanie farieb. Pokiaľ je hodnota $R_a > 40$, tak môžeme považovať túto hodnotu za „vyhovujúcu“. V prípade, že je hodnota $R_a > 70$, môžeme tento svetelný zdroj označiť ako „priemerne“ kvalitný zdroj svetla.

Pri wolframovej žiarovke je táto hodnota $R_a = 95$, pri žiarivkách je hodnota $R_a = 80$ (hodnota indexu podania farieb je súčasťou typového označenia) a naopak u sodíkovej nízkotlakovej výbojky je hodnota $R_a = 0$. Pri bielych výkonových LED (YAG) je obvykle hodnota $R_a > 80$. Pri skúmaní rôznych zdrojov svetla uvidíme, že možnosti podania farieb CRI sa veľmi líšia od zdroja ku zdroju.



Obrázok 48 Ukážka dvoch rôznych zdrojov svetla

7.4. Svietivosť - intenzita svetelného žiarenia

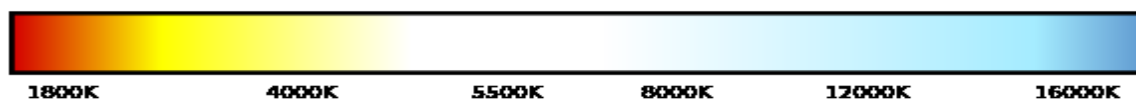
Najistejšou možnosťou ako okamžite zmeniť svietivosť výkonovej LED predstavuje použitie elektrického napájacieho zdroju prúdu s plynulou reguláciou, ktorá umožňuje voliť elektrický prúd, ktorý preteká výkonovou LED v priepustnom smere. Tento spôsob riadenia intenzity svetelného žiarenia emitovaného výkonovou LED však vykazuje silne nelineárnu závislosť medzi prúdom pretekajúcim výkonovou LED a intenzitou emitovaného svetla.

Vhodnejšie riešenie z hľadiska linearity regulácie svietivosti výkonovej LED spočíva v použití takého zapojenia, kde priepustne polarizovanou výkonovou LED nepreteká elektrický prúd trvale, ale je budený krátkymi obdĺžnikovými prúdovými impulzmi s definovaným činiteľom plnenia a konštantnou amplitúdou. Frekvencia týchto impulzov je natoľko vysoká, že pre zotrvačnosť ľudského zraku nie je možné tieto jednotlivé impulzy od seba rozlíšiť. Toto riešenie je veľmi vhodné hlavne z hľadiska plynulého stmievania výkonovej LED.

V dnešnej dobe vyrábané integrované obvody DC / DC impulzných meničov s prúdovým výstupom určené k napájaniu výkonových LED, sú vybavené špeciálnym vstupom umožňujúcim plynulé stmievanie výkonových LED.

7.5. Teplota chromatičnosti - farebná teplota

Popisuje spektrum bieleho žiarenia. Svetlo určitej teploty chromatičnosti má farbu vnútornej energie žiarenia vyžarovanú čiernym predmetom zahriatym na teplotu v Kelvinoch. V praxi sa da stretnúť s odvodenou americkou jednotkou mired podľa vzťahu $1 \text{ mired} = 1\,000\,000 / \text{teplota chromatičnosti v kelvinoch}$. Rôznymi teplotami chromatiky sa dá vytvoriť dojem studeného, neutrálneho alebo teplého dojmu prostredia. Teplota chromatičnosti výkonových LED môže byť rôzna, v rozsahu od hodnoty 2 800 K (teplé svetlo) až po hodnotu 9 000 K (studené svetlo). Napríklad u výkonovej LED bielej farby dochádza ku zmene chromatičnosti iba vtedy, keď časť fotónu vychádzajúceho z čipu výkonovej LED sa prevedie pomocou luminofóra na svetlo žltej farby.



Obrázok 49 Teplota chromatičnosti

7.6. Svetelná účinnosť

Množstvo svetla, ktoré výkonová LED vyžaruje na 1 watt elektrického príkonu nazývame svetelná účinnosť. U výkonových LED sa môžeme stretnúť s hodnotou svetelnej účinnosti blížiacej sa až k hodnote 100 lm/W. K porovnaniu vlákňová wolframová 60 W žiarovka má svetelnú účinnosť 15 lm/W, halogénové žiarovky 25 lm/W a žiarivka 60 lm/W.

Laboratórne „vysoko“ výkonové LED s hodnotou príkonu 100 W môžu dosiahnuť svetelnej účinnosti až 150 lm/W a tým dokážu vyžiariť množstvo svetla s hodnotou až 7 000 lm a so svojou svetelnou účinnosťou sa dokážu priblížiť k nízkotlakovým sodíkovým výbojkám.

Okolo roku 2010 dostupné výkonové biele LED vstúpili do priamej konkurencie so všetkými ostatnými zdrojmi svetla a vo svetelnej účinnosti súčasné známe svetelné zdroje začali predbiehať. Cieľom je, aby sa na trh dostali cenovo prijateľné výkonové biele LED so svetelnou účinnosťou 160 lm/W.

7.7. Účinnosť

Účinnosť všetkých svetelných zdrojov je kvantum elektrickej energie, ktorá je premenená na svetlo, vyjadrená v percentách. Zostatok elektrickej energie, ktorá nie je premenená na fotóny (svetlo), je premenená na fonóny (teplo), a preto je celková účinnosť výkonových LED nepriamo úmerná zahrievaniu čipu výkonovej LED. Z hľadiska celkovej účinnosti výkonovej LED a predĺžením životnosti zariadenia je nutné účinným spôsobom odvieť nežiaduce teplo z čipu výkonovej LED.

Výkonové LED, rovnako ako iné elektronické súčiastky, nedosahujú účinnosť, ktorá by sa rovnala hodnote 100 %. V praxi je možná dosiahnuteľná účinnosť najmodernejších výkonových LED v rozmedzí 40 až 50 %. Pre porovnanie opäť vlákňová wolframová 100 W žiarovka dosahuje hodnoty iba okolo 5 %.

7.8. Teplotná závislosť

Pri zmene teploty LED čipu dochádza taktiež ku zmene vlnovej dĺžky a šírky spektra svetelného žiarenia. S rastúcou teplotou čipu LED dochádza k poklesu energie zakázaného pásu PN prechodu výkonovej LED, a preto je z LED čipu emitované monochromatické žiarenie v dlhších vlnových dĺžkach. V opačnom prípade so znižujúcou teplotou na čipe výkonovej LED je emitované monochromatické žiarenie v kratších vlnových dĺžkach. V praxi sa však zmenou vlnovej dĺžky pri zmene teploty nemusíme zaoberať z dôvodu malých zmien a sú teda zanedbateľné (definované v katalógu výrobcu). Príkladom sú biele výkonové LED, u ktorých sa nám určitá časť fotónov vychádzajúcich z čipu LED prevedie na žlté svetlo s pomocou luminofóra.

7.9. Životnosť

V súčasnej dobe nie je úplne pochopené všetkým mechanizmom degradácie optických, vlastností a rekombinačnému procesu pri výkonových LED založených na GaN, ktoré tvoria výhradný sortiment dnešného trhu výkonových LED.

Pri výkonových LED na rozdiel od vláknovej wolframovej žiarovky nedochádza k okamžitému zničeniu celej súčiastky, ale postupom času dochádza k degradácii svetelného žiarenia. Prevádzkový čas je závislý na teplotách a prechádzajúcich prúdoch výkonovou LED. Čím sú teda tieto dve hodnoty vyššie, tým sa skracuje životnosť výkonovej LED. Ľudské oko rozpozná pokles svetla pri poklese intenzity výkonovej LED na 70 %. U niektorých výkonových LED môže dôjsť k poklesu až pri 20 000 hodinách prevádzky. Prevádzková doba je ovplyvnená pracovnou hodnotou teploty a hodnotou prúdu prechádzajúceho cez PN prechod výkonovej LED. U väčšiny výkonových LED je intenzita svetla 100 % i pri prevádzke 10 000 hodín. K postupnej degradácii pri výkonových LED dochádza tiež aj pri trvalom skrate jej svoriek.

8. Záver

Najdôležitejšou časťou tejto práce sú merania jasovým analyzátorom na svietidle Helio Coridor ULED 20W , na ktorom sa merali merania posúdenia jasov pri celom LED svietidle a jednej LED diódy zo svietidla. A následne aj meranie s rôznymi druhmi difúzorov. Ďalšími meranými svietidlami boli LED svietidlo Thorn CHALICE 190H LED 2000 TWIST a žiarivkové svietidlo Thorn CHALICE 190H PC 2x26 TC-DEL HF ktoré sa po meraní porovnávali pre možnú inováciu.

V prvom meraní z výsledných hodnôt môžeme usúdiť, že pri meraní LED svietidla bol pomer maximálnych jasov a stredných hodnôt približne k jednej tretine. V prípade merania samotnej LED diódy stredné hodnoty jasov dosahuje hodnôt jednej polovice maximálneho jasov. Kolísanie jasov pri jednotlivých meraniach bolo približne v rovnakej miere. Osem meraní sa vykonalo, aby sa predišlo odchýlkam pri meraní, ktoré môžeme pozorovať aj pri porovnávacích grafoch ,kde stredné hodnoty kolíšu pri odchýlkach $\pm 650 \text{ cd}\cdot\text{m}^2$. Na posúdenie kvality výkonového LED svietidla vychádza najlepšie parameter stredných hodnôt jasov celého svietidla, pretože v sebe zahŕňa aj hodnoty odrazových plôch, z čoho sa dal lepšie vyvodit' obraz o veľkosti a rozložení jasov daného svietidla.

V druhom meraní difúzorov profilov SATINE, MIKROPRIZMA, PRIZMA sa ukázalo, že účinnosť svietidla klesne na 38% pri použití difúzoru SATINE, na 26,7 % pri použití difúzoru MICROPRIZMA a na 27,2% pri použití difúzoru PRIZMA.

V tretom meraní sa porovnávalo LED svietidlo so žiarivkovým svietidlom. Z výsledných hodnôt vyplýva, že výsledné stredné hodnoty jasov a maximálne žiarivkové svietidlo dosahuje lepších výsledkov . Pretože žiarivka nevyžaruje až prílišne maximálne jasy ,ako to je u LED svietidla, ale zároveň ma lepší pomer stredných hodnôt jasov. Pri LED svietidle je to nevyrovnané. Pri maximálnych jasoch dosahuje až trojnásobné hodnoty žiarivkových hodnôt, ale pri stredných hodnotách dopadá horšie, keďže pri jasovej analýze sa objavili miesta aj s nulovým jasom ,čo je zároveň príčinou toho, prečo nedosahuje lepšie hodnoty pri stredných hodnotách jasov. Bolo by preto vhodné použitie difúzora, ktoré by potlačilo maximálne jasy. Tak by sa predišlo oslneniu a zároveň by jasové pole bolo rovnomernejšie.

Použitá literatura

SOKANSKÝ, K. a kolektiv. Světelná technika. Praha: ČVUT, Vydání 1. 2011. 256s, ISBN 978-80-01-04941-9

HABEL, J. a kol. Světelná technika a osvětlování. 1. vyd. Praha, FCC Public, 1995, 448 s. ISBN 80-901985-0-3.

HABEL, Jiří: *Světelná technika a osvětlování*. Praha FCC, Public, 1995, 364s. ISBN 80-911988-0-3

KIRKLAND, Kyle. *Light and optics*. New York (USA), Copyright © 2007. ISBN 10: 0-8160-6114-9.

Alanod. *Alanod.com* [online]. 2013 [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: <http://alanod.com/opencms/opencms/en/products/>

Plexiglas. *plexiglas.com* [online]. 2013 [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: <http://plexiglas.com/acrylicsheet/acrylicsheetfamily/>

Evonik Industries. *corporate.evonik.com* [online]. 2013 [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: <http://corporate.evonik.com/en/content/product-stories/Pages/light-sources-of-the-future.aspx>

LED. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. Florida: Wikimedia Foundation, 21. 9. 2005, 4. 3. 2013 [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/LED>

SOKANSKÝ, K. a kolektiv. Dominantní vlivy ovlivňující spotřebu elektrické energie osvětlovacích soustav. Ostrava: Česká společnost pro osvětlování, 2007. [online].[20. listopadu 2012]. Dostupné z WWW: http://csorsostrava.cz/publikace/dominantni_vlivy_2007.pdf

Index podání barev. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. Florida: Wikimedia Foundation, 6. 1. 2009, 10. 2. 2013 [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Index_podání_barev

SOUČASNÝ STAV A TREND VÝVOJE LED TECHNOLOGIE [online].[20. listopadu 2012]. Dostupné z WWW: <http://www.osvetle.cz/profesional/6-technikaprofes/41-soucasny-stav-a-trend-vyvoje-led-technologie.html>

OLED. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. Florida: Wikimedia Foundation, 4. 3. 2003, 5. 4. 2013 [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/OLED>

Světelné zdroje pro interiéry aneb jak nahradit klasickou žárovku. *Světlo* [online]. 2009, č. 38557 [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=38557

Melč A., Světelné zdroje pro interieéry aneb jak nahradit klasickou žárovku. Dostupné z http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=38557

Kolář P., Aplikace svítivých diod v osvětlovací technice. Dostupné z:
http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=26903

ŠTÁL, Petr. *Problematika přímé náhrady návěštních žárovek „výkonovými“ svítivými diodami*. In: [online]. Plzeň: Západočeská univerzita, 2008, s 28, článek [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: http://www.fel.zcu.cz/Data/documents/sem_de_2008/Stal_08.pdf>

SHEEHAN, G.: Facts about Dimming. LED Professional Review [online]. 2011, 23, 1, [cit. 2013-03-08]. Dostupný z :
http://w3.lightbasedtechnologies.com/files/White_Papers/Facts_About_Dimming.pdf.

Slovák F., Analýza parametrů světloemitujících diod. Dostupné z:
http://dip.felk.cvut.cz/browse/pdfcache/slovaf1_2009dipl.pdf

KONEČNÝ, Ivan. *Přehled vlastností vysoce svítivých diod a možností jejich využití v železniční návěštní optice..* In: [online]. Plzeň: Západočeská univerzita, 2007, s 45, článek [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: http://www.fel.zcu.cz/Data/documents/sem_de_2007/konecny.pdf